

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

Л.Д. Гуракова

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання курсового проекту

«РОЗРАХУНОК ЛЮМІНЕСЦЕНТНИХ ЛАМП»

з дисципліни

«ДЖЕРЕЛА СВІТЛА»

*(для студентів 3-4 курсів денної і заочної форм навчання
напряму підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології»
спеціальності «Світлотехніка та джерела світла»)*

Методичні вказівки до виконання курсового проекту «Розрахунок люмінесцентних ламп» з дисципліни «Джерела світла» (для студентів 3-4 курсів денної і заочної форм навчання напряму підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» спеціальності «Світлотехніка та джерела світла») / Укл.: Л.Д.Гуракова – Х: ХНАМГ, 2010.- 42с.

Укладач: к.т.н., доц. Л.Д. Гуракова

Рецензент: д.т.н., проф. С.С. Овчинников

Рекомендовано кафедрою СДС,
протокол № 3 від 20 листопада 2009 р.

ЗМІСТ

	Стор.
Вступ.....	4
Загальні положення.....	5
1. Визначення електричних характеристик та геометричних параметрів ламп.....	7
1.1. Визначення електричних параметрів.....	7
1.2. Визначення геометричних параметрів.....	7
2. Зовнішній баланс енергії. Визначення температури холодної точки.....	11
3. Принципи попереднього відбору варіантів ламп.....	14
4. Визначення світлотехнічних варіантів ламп.....	17
5. Економічне зіставлення параметрів варіантів ламп.....	20
Додатки та довідкові матеріали.....	23
Список літератури.....	42

ВСТУП

Створення люмінесцентних ламп (ЛЛ) було істотним проривом в області підвищення ефективності перетворення електричної енергії в світлову. В цих лампах поєднані два фізичні процеси: електричний розряд в суміші газу і парів металу і люмінесценція твердого тіла під впливом випромінювання.

Сучасні ЛЛ є найбільш розповсюдженими розрядними джерелами світла, вони виробляють 60% усієї світлової енергії, що випромінюється розрядними джерелами світла. Сучасні ЛЛ мають світлову віддачу $60-100 \frac{Лм}{Вт}$, термін служби їх складає 10-20 тис. год. Завдяки використанню вузькосмугових люмінофорів індекс кольоропередачі люмінесцентних ламп досягає $R_a=98$.

Ці лампи мають широкий діапазон кольорових температур (2700÷6500 К) і різномайття типів за кольоровими відтінками (лампи білого світла ЛБ, лампи денного світла ЛД, лампи теплого білого світла ЛТБ і т.д.). Тривалий термін служби, низьке енергоспоживання, різномайття потужностей (від 14 до 100 Вт), довжин, форм (прямі, круглі, U-образні) забезпечують багатий вибір рішень для завдань освітлення.

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Курсовий проект з розрахунку розрядних джерел світла виконують студенти денної форми навчання у 6 семестрі, а заочної – у 7 семестрі.

Він має за мету оволодіння студентами практичними навичками розрахунку розрядних джерел світла.

Типове завдання на курсовий проект з розрахунку люмінесцентної лампи потребує виконання такого обсягу розрахункових і графічних робіт:

1. Визначення конструктивних параметрів (діаметра d і довжини $l_{\text{л}}$) варіантів люмінесцентних ламп (ЛЛ) заданої потужності;

2. Оцінка зовнішнього балансу енергії;

3. Розрахунок світлового потоку (Φ) і світлових віддач (η) варіантів ламп;

4. Економічне порівняння розрахованих варіантів ЛЛ при їх роботі в освітлювальних установках (ОУ) і вибір найбільш доцільного варіанта лампи з урахуванням умов обслуговування ОУ;

5. Оформлення пояснювальної записки до курсового проекту та виконання креслення, що включає загальний вигляд оптимального варіанта лампи, конструкції окремих вузлів (електрод, ніжка, цоколь і т.д. за вказівкою викладача) і графіків, що ілюструють результати економічного розрахунку.

Вихідними даними для розрахунку ЛЛ звичайно є: потужність лампи ($P_{\text{л}}$); тип ЛЛ за спектральним складом випромінювання (наприклад, ЛБ, ЛДЦ та ін.) і температура навколишнього середовища ($t_{\text{окр}}$), в якій працює лампа.

Очевидно, що вказаним вихідним даним може задовольняти велика кількість варіантів ЛЛ, що відрізняються конструктивними (d , $l_{\text{л}}$, вид і тиск наповнюючого газу), електричними (струм лампи I , напруга на ній $U_{\text{л}}$), світлотехнічними (Φ , η), експлуатаційними (строк служби τ , стабільність світлового потоку лампи в часі) та економічними параметрами (вартість лампи).

Вибір найбільш раціонального варіанта лампи, керуючись тільки одним з цих параметрів, за винятком спеціальних випадків використання, неможливий, з огляду на відому суперечність вказаних показників (наприклад, лампи з високою світловою віддачею можуть мати короткий термін служби, значну довжину трубки, тобто більшу вартість). Крім того такий шлях відбору ламп масового використання буде невірним, тому що характеристики ламп великою мірою визначають показники інших елементів освітлювальної установки із ЛЛ, таких як світильники та пускорегулюючі апарати (наприклад збільшення $I_{\text{л}}$ лампи призводить до збільшення розмірів, а отже і вартості світильника; зменшення напруги на лампі при постійній напрузі постачальної мережі призводить до збільшення габаритів, ваги, вартості ПРА, витрат електроенергії в ній та ін.).

Отже, характеристики лампи значно впливають на економічну ефективність освітлювальної установки в цілому, тому єдино правильним критерієм відбору найбільш доцільного варіанта лампи заданої потужності треба вважати економічний показник ОУ (промислового освітлення), за який приймають приведені річні затрати $C+K/T_{\text{н}}$, де C – частина річних експлуатаційних витрат, що змінюється; K – частина капітальних витрат, що

змінюється, тобто собівартість ОУ; T_n – нормальний термін окупності ОУ. Розрахований варіант лампи, що дає мінімум річних приведених затрат в установці з урахуванням реальних умов її обслуговування (спосіб заміни ламп в установці, періодичність чистки світильників та ін.) вважається найкращим.

З існуючих методів визначення геометричних параметрів ЛЛ – методу розрахунку на оптимальне питоме навантаження (ω_{opt}) та багатоваріантного методу розрахунку – треба використовувати останній, тому що лампи з оптимальним питомим навантаженням часто не забезпечують найкращі економічні показники освітлювальних установок (наприклад, потужні ЛЛ $P_{л} > 100$ Вт із оптимальним питомим навантаженням можуть бути малоефективними, не зважаючи на високі η , тому що за рахунок великої довжини таких ламп збільшується їх вартість і вартість ПРА; останнє пов'язане з тим, що збільшення $l_{л}$ лампи супроводжується збільшенням її напруги запалу).

При використанні багатоваріантного методу розраховують варіанти ЛЛ заданої потужності на різні напруги постачальної мережі (U) зі змінними співвідношеннями напруги на лампах ($U_{л}$) до напруги мережі ($m = U_{л}/U$), діаметрами трубок, видом і тиском ($P_{пр}$) наповнюючого інертного газу, після чого проводять економічне зіставлення варіантів ламп за вказаними річними витратами в ОУ. Таким чином, для розрахунку ЛЛ, окрім початкових даних, необхідно обґрунтовано вибрати діапазони зміни ще п'яти параметрів: U , m , d_2 , рід інертного газу та його тиск.

Термін виконання курсового проекту складає 10 тижнів, на кожен із п'яти вказаних змістовних модулів (3 М) виділяються два тижні. Контроль виконання здійснюється викладачем і оцінюється в балах: за кожен своєчасно виконаний ЗМ студент може отримати до 12 балів, а за захист курсового проекту до 40 балів.

Рекомендується наступна послідовність розрахунку характеристик варіантів ЛЛ.

1. ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛАМП

1.1 Визначення електричних характеристик лампи

Напругу на лампі визначають як

$$U_{\text{л}} = mU \quad (1.1)$$

де U – напруга мережі

Розрахунок $U_{\text{л}}$ проводять для вибраних відповідно до заданої потужності лампи значень U з числа стандартних ($U=127, 220, 380$ В) і для чотирьох значень m , що змінюються в межах від 0,45 до 0,65. Найменше значення m у вказаному діапазоні обмежено з огляду на економічні міркування, найбільше – з точки зору стабільності характеристик ЛЛ в умовах можливого коливання напруги мережі.

Далі розраховують струм лампи:

$$I = P_{\text{л}} / k_{\text{л}} U, \quad (1.2)$$

де $k_{\text{л}}$ – коефіцієнт потужності лампи, що залежить від типу баласту, ввімкненого послідовно з лампою та величини m . Для індуктивного баласту та значень m , що лежать у вказаних вище межах $k_{\text{л}}=0,85 \div 0,9$.

1.2 Визначення геометричних параметрів ламп

До геометричних параметрів ЛЛ відносяться довжина позитивного стовпа розряду $l_{\text{ст}}$ і лампи $l_{\text{л}}$.

Як відомо, випромінювання ЛЛ створюється в основному в області позитивного стовпа. Приелектродні частини розряду, життєво необхідні з точки зору його існування, малоефективні по відношенню до випромінювання. Тому при розрахунку ЛЛ в першу чергу розглядають співвідношення для позитивного стовпа, причому для спрощення задачі вважається, що стовп має довжину значно більшу за фактичний радіус розрядного каналу і є однорідним за довжиною.

Спочатку легко записати таке співвідношення для падіння напруги в позитивному стовпі ($U_{\text{ст}}$):

$$U_{\text{ст}} = U_{\text{л}} - U_{\text{ак}}, \quad (1.3)$$

де $U_{\text{ак}}$ – анодно-катодне падіння потенціалу.

У люмінісцентних лампах звичайного типу величина $U_{ак}$ в основному, визначається катодним падінням потенціалу U_k . Катодне падіння в загальному випадку залежить від виду й тиску інертного газу, від конструкції електродів та їх емісійних властивостей, а також від сили розрядного струму. При цьому, маючи на увазі, що залежність U_k від I слабо виражена, і вважаючи, що в розрахункових варіантах ЛЛ використовуються ідентичні за конструкцією та умовами активування електроди, можна враховувати лише залежність U_k від роду й тиску інертного газу (див. табл. 1 додатків). У ЛЛ звичайного типу на анодне падіння потенціалу припадає від 3 до 6 В.

Знаючи падіння потенціалу в позитивному стовпі, нескладно визначити його довжину:

$$l_{ст} = U_{ст} / \epsilon, \quad (1.4)$$

де ϵ – градієнт потенціалу в позитивному стовпі.

Градієнт потенціалу позитивного стовпу залежить від струму лампи, діаметра трубки, виду та тиску інертного газу. Вказані залежності для різних інертних газів (Ne; Ar; Kr) їх тисків, діаметрів розрядних трубок та струмів лампи наведені в табл. 2-5. додатків. Крім цього ϵ також є функцією температури навколишнього середовища (рис.1.1).

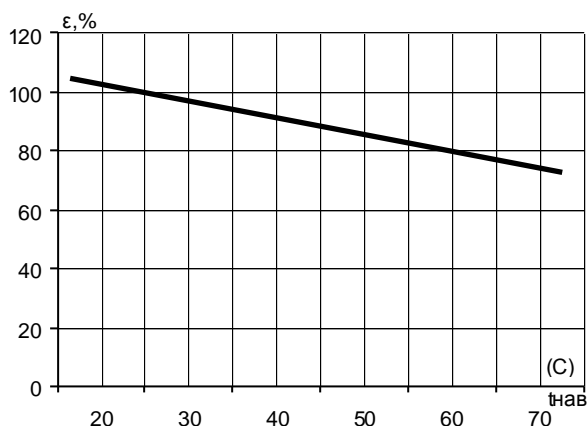


Рис.1.1

З урахуванням довжини позитивному стовпа розряду можна визначити і довжину лампи:

$$l_{л} = l_{ст} + \Delta l, \quad (1.5)$$

де в Δl враховується довжина біяелектродних областей розряду і довжина двох електродних вузлів лампи (ніжка, цоколь). Для більшості практичних розрахунків можна з достатнім ступенем точності вважати $\Delta l = 12 \div 15$ см.

Як видно з викладеного раніше, для визначення $U_{ст}$, $I_{ст}$, а значить і $I_{л}$, необхідно вибрати вид і тиск інертного газу, діаметр трубки лампи. В якості інертного газу, наповнюючого ЛЛ, найчастіше використовують Ne; Ar; Kr з тиском від 0,07 до 4 мм рт. ст. З точки зору підвищення світлової віддачі ЛЛ

перевага того чи іншого інертного газу залежить від потужності позитивного стовпа розряду $P_{ст}$:

$$P_{ст} = U_{ст} \cdot I \cdot k_{л} = \varepsilon \cdot I \cdot k_{л} \cdot l_{ст} = P_{лст} \cdot l_{ст} \quad (1.6)$$

де $P_{лст}$ – потужність позитивного стовпа одиничної довжини (питома потужність).

При невеликих значеннях $P_{ст}$, коли вторинні процеси в розряді теж є малими, світловий потік росте пропорційно потужності (рис. 1.2). Зі збільшенням потужності зростає роль зіткнень, що гасяться, і ступінчатих зіткнень. Це призводить до уповільнення збільшення світлового потоку.

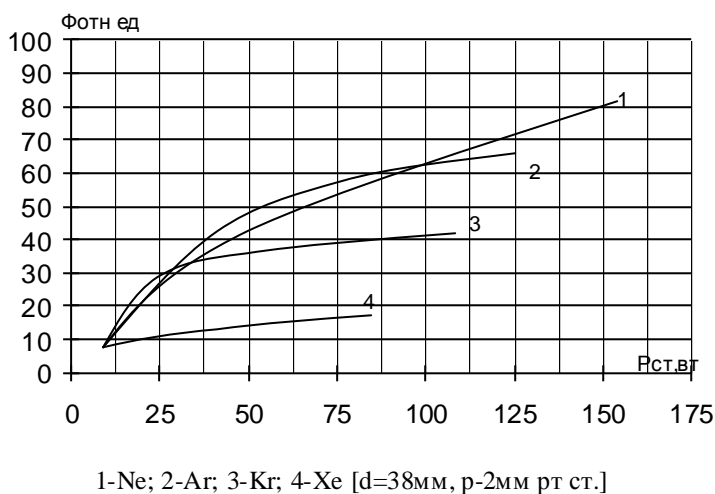


Рис.1.2

Залежність (при $t_{ст}^{\circ} \approx 40^{\circ}\text{C}$) відносного виходу резонансного випромінювання $\Phi_{елст}/P_{лст}$ ($\Phi_{елст}$ – енергетичний потік обох резонансних ліній ртутного розряду з одиниці довжини позитивного стовпа) від тиску інертного газу для двох значень $P_{лст}$ подана на рис. 1.3.

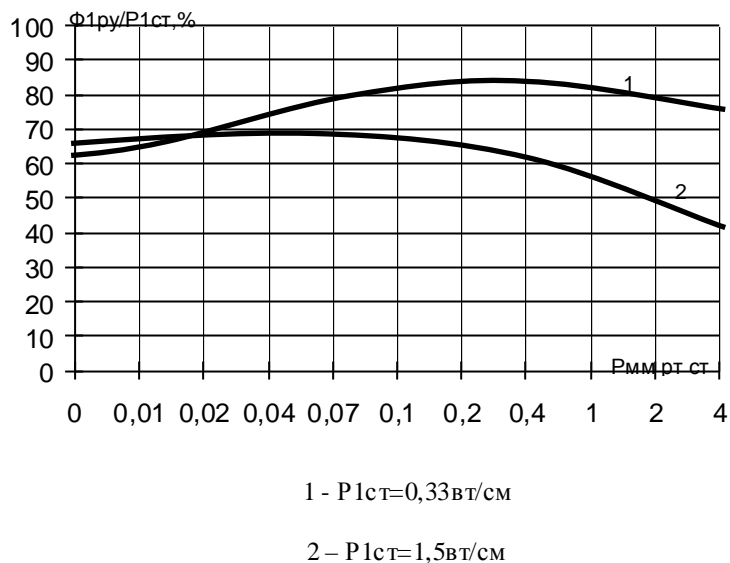
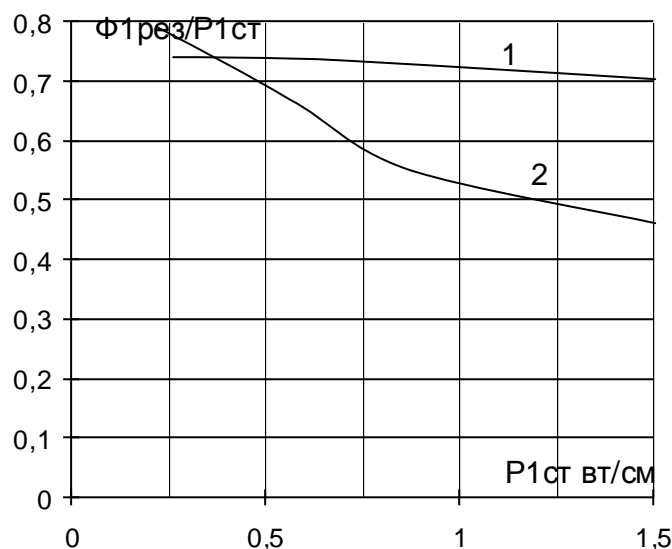


Рис.1.3

Як видно, при невеликих питомих потужностях залежність має чітко виражений оптимум при тисках близько 1 мм. рт. ст. Разом з цим експериментально встановлено, що з падінням тиску наповнюючого газу (до 0,07 мм. рт. ст.) залежність виходу резонансного випромінювання (лінія 253,7 нм) від струму та питомої потужності стає більш лінійною, а залежність відносного виходу резонансного випромінювання від I та $P_{1\text{ст}}$ відносно слабкою (рис. 1-4). Така залежність найбільш чітко виражена для важких наповнюючих газів (Ar; Kr) і більших діаметрів трубок (38 і 54 мм).



1 – Par=0,07мм.рт.ст.

2 – Par=4,0 мм.рт.ст.

Рис.1.4

Сказане свідчить про доцільність, з точки зору збільшення початкової світлової віддачі, наповнення потужних ЛЛ ($P_{\text{л}} \geq 100 \div 150$ Вт) порівняно важкими інертними газами при низьких тисках.

Однак розробка ЛЛ з високими $P_{1\text{ст}}$, тобто зі збільшеними значеннями струму та малими тисками важкого інертного газу має серйозні труднощі, пов'язані з тривалістю роботи електродів (тобто термін служби лампи), стабільністю світлового потоку ЛЛ у процесі експлуатації, напругою запалення ламп, приелектродними втратами та ін. Врахування впливу вказаних факторів на характеристики ЛЛ є складним, з огляду на відсутність в літературі достатньо чітких даних про вплив величини струму, роду та тиску інертного газу на термін роботи ЛЛ при відповідних умовах експлуатації та ін. В зв'язку з цим в різних варіантах ЛЛ електродні вузли розробляються таким чином, що незалежно від робочого току лампи, роду та тиску інертного газу забезпечується потрібний строк служби варіантів ЛЛ.

Діаметри трубок для розрахункових варіантів ЛЛ обирають відповідно до даної потужності лампи з числа стандартних ($d_2=19, 25, 38, 54$ мм). При обиранні діаметрів треба прагнути до відтворення умов у розряді, забезпечуючих найбільший вихід резонансного випромінювання.

2. ЗОВНІШНІЙ БАЛАНС ЕНЕРГІЇ. ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ХОЛОДНОЇ ТОЧКИ

Температура колби є однією з найважливіших характеристик будь-якої газорозрядної лампи. Особливо чітко це має виявлення у ламп з розрядом у парах металу, тому що в цьому випадку мінімальна температура внутрішніх частин лампи ($t_{\text{хт}}^{\circ}$), до яких можуть доторкатися пари металу, визначає робочий тиск парів у лампі, а значить всі її електричні й світлотехнічні характеристики. У ЛЛ ми маємо справу з насиченими парами ртуті, тиск яких є різкою функцією $t_{\text{хт}}^{\circ}$.

У люмінісцентних лампах звичайної конструкції найбільш холодною частиною лампи є область позитивного стовпа. На рис. 2.1 наведено типовий розподіл температури по поверхні ЛЛ при їх роботі у горизонтальному положенні в спокійному повітрі (умови природної конвекції). Можна вважати, що тиск у лампі визначається температурою зовнішньої поверхні трубки в області стовпа ($t_{\text{ст}}^{\circ}$), оскільки перепад температури в стінках трубки складає не більше одного градусу. Температура колби, а також інших елементів лампи може бути визначена з їхнього теплового балансу. У лампах трубчатої форми з довгим позитивним стовпом можна розглядати окремо тепловий баланс в області позитивного стовпа.

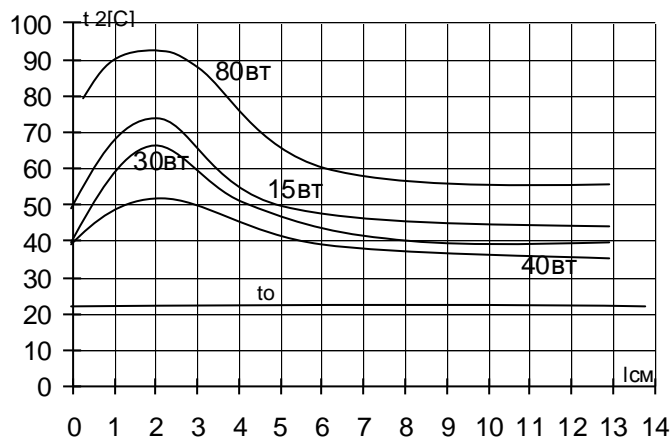


Рис.2.1

У цьому разі отримуємо:

$$a_{\text{ст}} P_{\text{ст}} = q_{\text{ст}} \pi d_2 l_{\text{ст}}, \quad (2.1)$$

або для стовпа одиничної довжини

$$a_{\text{ст}} P_{1\text{ст}} = q_{\text{ст}} \pi d_2, \quad (2.2)$$

де $a_{\text{ст}}$ — частина потужності позитивного стовпа, що йде на нагрів колби (коефіцієнт $a_{\text{ст}}$ залежить від умов розряду, форми та матеріалу колби та ін., для практичних розрахунків у випадку ЛЛ вважається, що $a_{\text{ст}} \approx 0,8$);

$q_{\text{ст}}$ — питомі втрати потужності, тобто потужність, що втрачається з одиниці площі зовнішньої поверхні колби у результаті всіх процесів відведення тепла, що відбуваються.

У загальному випадку тепловідведення нагрітої колби здійснюється шляхом теплової віддачі в навколишнє середовище і шляхом теплового випромінювання. Тому

$$q_{\text{ст}} = q_{\text{т}} + q_{\text{випр}}, \quad (2.3)$$

де $q_{\text{т}}$ – потужність, що втрачається з одиниці площі зовнішньої поверхні колби шляхом теплової віддачі в навколишнє середовище;

$q_{\text{випр}}$ – питомі втрати потужності шляхом теплового випромінювання.

Втрати потужності шляхом теплової віддачі в навколишнє середовище можна розрахувати на основі законів теплової подібності, можливість застосування яких доведена багатим експериментальним матеріалом:

$$q_{\text{т}} \approx A d_2^{-0,25} (t_{\text{ст}}^{\circ} - t_{\text{навк}}^{\circ})^{1,25}, \quad (2.4)$$

де A – коефіцієнт, що залежить від роду газу навколо колби, його тиску. Коефіцієнт A також є слабкою функцією навколишньої температури $t_{\text{навк}}^{\circ}$. У табл.7 наведені значення коефіцієнта A для роботи ЛЛ в спокійному повітрі із нормальним тиском (при зовнішньому діаметрі d_2 , вираженому в см, $q_{\text{т}}$ в (2.4) виходить у Вт/см²).

Питомі втрати потужності нагрітої колби шляхом теплового випромінювання можна визначати за такою приблизною формулою, що часто використовується у практиці теплотехнічних розрахунків:

$$q_{\text{випр}} \cong \varepsilon_{\text{к}} \sigma_0 [T_{\text{ст}}^4 - T_{\text{навк}}^4], \quad (2.5)$$

де $\varepsilon_{\text{к}}$ – інтегральний коефіцієнт випромінювання колби при температурі зовнішньої стінки $T_{\text{ст}}(\text{K})$, σ_0 – постійна Стефана-Больцмана, що дорівнює $5,67 \cdot 10^{-12}$ Вт/см²*град⁴; $T_{\text{навк}}$ – температура навколишнього середовища (K).

На рис. 2.2 наведена залежність $q_{\text{випр}} = f(t_{\text{хт}}^{\circ})$ при $t_{\text{навк}}^{\circ} = 20^{\circ}\text{C}$ для сорту скла, що найбільш часто використовується для колб ЛЛ.

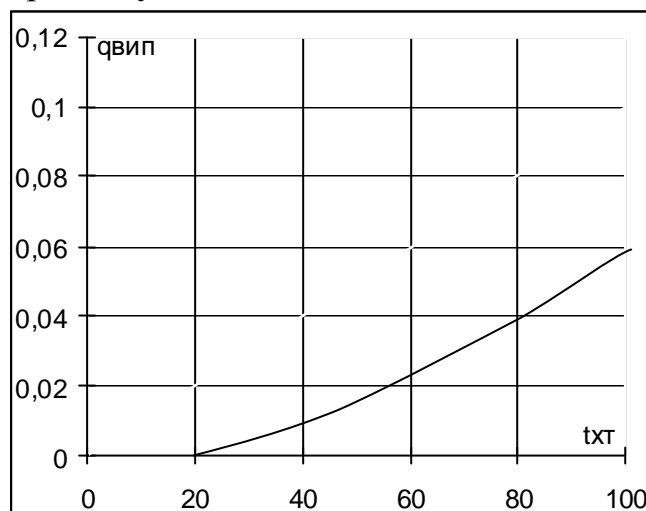


Рис.2.2.

При невеликих перепадах температури між зовнішньою поверхнею колби та навколишнім середовищем ($\Delta t = t_{\text{ст}}^{\circ} - t_{\text{навк}}^{\circ}$), що не перебільшують $20 \div 30^{\circ}\text{C}$, із достатньою для практики точністю можна прийняти залежність $q_{\text{ст}}$ від Δt лінійною:

$$q_{\text{ст}} \cong c \Delta t, \quad (2.6)$$

де c – коефіцієнт пропорційності, що слабо залежить від d_2 та $t_{\text{навк}}^{\circ}$.

Підставляючи значення q з (2-6) у (2-1), отримаємо спрощену розрахункову формулу, що зв'язує $t_{\text{ст}}^{\circ}$ лампи з питомим навантаженням ω , тобто потужністю позитивного стовпа на одиницю зовнішньої поверхні трубки.

$$\omega = P_{\text{ст}} / \pi d_2 l_{\text{ст}} \equiv C / a_{\text{ст}} (t_{\text{ст}}^{\circ} - t_{\text{навк}}^{\circ}), \quad (2.7)$$

На рис. 2.3 наведені залежності $t_{\text{ст}}^{\circ}$ від питомого навантаження для трубок різного діаметра при $t_{\text{навк}}^{\circ} = 20^{\circ}\text{C}$.

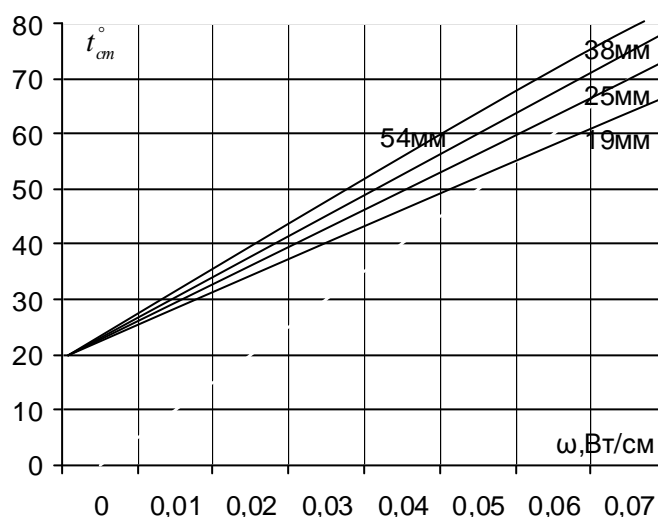


Рис.2.3

Слід підкреслити, що рівнянням (2.7) можна користуватися для розрахунку $t_{\text{ст}}^{\circ}$ ЛЛ звичайної конструкції, що працюють у спокійному повітрі при $t_{\text{навк}}^{\circ} = 20 \pm 10^{\circ}\text{C}$. При $t_{\text{навк}}^{\circ}$, що відрізняються у вказаних межах від 20°C , ординату кривих для $\omega = 0$ треба змістити на відповідне значення $t_{\text{навк}}^{\circ}$. У інших випадках необхідно користуватися більш загальними співвідношеннями (2.1), (2.3), (2.4) і (2.5) і визначати $t_{\text{ст}}^{\circ}$ шляхом графічного вирішення рівняння теплового балансу позитивного стовпа.

Таким чином, знаючи $P_{\text{ст}}$, $a_{\text{ст}}$, d і $l_{\text{ст}}$ неважко знайти $t_{\text{ст}}^{\circ}$.

3. ПРИНЦИПИ ПОПЕРЕДНЬОГО ВІДБОРУ ВАРІАНТІВ ЛАМП

У зв'язку з тим, що в процесі розрахунку ЛЛ треба задаватися п'ятьма параметрами, а конкретно, U , m , родом інертного газу, його тиском (P_{ir}), діаметром трубки, причому для кожного з цих параметрів звичайно приймають декілька значень, число варіантів ЛЛ, для котрих визначені геометричні параметри, досягає значної величини (близько 20-30 варіантів). Тому перед тим як приступити до розрахунку балансу енергії ЛЛ та визначення їх світлотехнічних характеристик, необхідно відкинути найгірші варіанти ЛЛ. Відсутність попередньої відбраковки варіантів ЛЛ знижує якість курсового проекту.

Як вже було сказано, найбільш правильним критерієм оцінки доцільності того чи іншого розрахованого варіанту ЛЛ є економічний показник освітлювальної установки, за який приймаються приведені річні витрати $C+K/T_n$. Тому треба провести якісне зіставлення розрахованих варіантів ЛЛ один відносно одного за приведеними річними витратами, причому в першу чергу за такими характеристиками розрахованих варіантів ЛЛ, які найбільше впливають на $C+K/T_n$. Такими характеристиками перш за все є початкова світлова віддача лампи (η_l) і спад світлового потоку лампи в процесі використання, що визначає кількість ламп в установці, яка забезпечує потрібний рівень освітлення (однаковий для всіх порівняльних варіантів ламп), а також довжина та діаметр лампи, які визначають вартість самої лампи та світильника (на вартість світильника найбільше впливає l_d). У зв'язку з вказаним варіанти ламп, що мають помітно меншу у порівнянні з іншими початкову світлову віддачу та більшу довжину, мають відкидатися.

Світлова віддача лампи зв'язана зі світловою віддачею позитивного стовпа розряду η_{st} формулою:

$$\eta_l \approx \eta_{st} * P_{st} / P_l = \eta_{st} (1 - U_{ak} / U_l). \quad (3.1)$$

Рівняння (3.1) отримане на базі припущення, що світловий потік лампи Φ_l утворюється лише позитивним стовпом розряду, а участь приелектродних областей у цьому дуже мала (нею зневажають), тобто при $\Phi_l \approx \Phi_{st}$, де Φ_{st} – світловий потік позитивного стовпа з урахуванням перетворень у шарі люмінофору.

Світлова віддача позитивного стовпа $\eta_{st} = \Phi_{st} / P_{st}$ залежить поперед усе від t_{xt}° , струму лампи, її діаметру, роду та тиску наповнюючого інертного газу. Як відомо, залежність η_{st} від t_{xt}° при інших постійних параметрах має достатньо різкий максимум, що припадає на значення t_{xt}° приблизно $38 \div 45^\circ \text{C}$. При вказаних значеннях t_{xt}° в лампі забезпечується оптимальний тиск насичених парів ртуті (близько $5 \cdot 10^{-3}$ мм. рт. ст.), при якому маємо найбільший відносний вихід резонансного випромінювання, тобто найбільшу η_{st} . У зв'язку з цим, розраховані варіанти ЛЛ звичайної конструкції, що мають t_{xt}° менше $33 \div 35^\circ \text{C}$ та більше ніж 60°C , можна відкинути, у зв'язку з низьким значенням $\eta_{st}(\eta_l)$, що очікується.

У випадку, коли викладачем буде запропоновано розрахувати ЛЛ спеціальної конструкції (лампи з холодними за електродними областями; лампи, у які введена амальгама ртуті та ін.), можуть бути використані і варіанти ЛЛ з $t_{\text{ст}}^{\circ}$, що перебільшує вказане вище найбільше значення $t_{\text{хт}}^{\circ}$. При введенні в ЛЛ замість чистої ртуті амальгами у залежності від відсоткової частини у ній сторонніх компонентів (індій, кадмій та ін.) оптимальний тиск насичених парів ртуті та максимальна величина $\eta_{\text{ст}}$ досягається при більш високих, ніж 38-45°C, значеннях $t_{\text{хт}}^{\circ}$ (рис. 3-1).

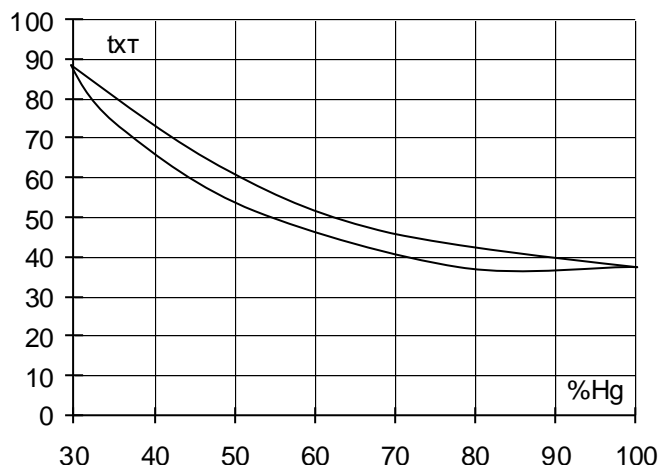


Рис.3.1.

Однак при цьому слід зважати на те, що введення амальгами приводить до зміни стабільності світлового потоку ЛЛ при експлуатації та збільшенню вартості самої лампи. Як вже було вказано, $\eta_{\text{ст}}$ окрім $t_{\text{хт}}^{\circ}$, залежить від I , d_2 , роду та тиску інертного газу, що наповнює лампу. На рис. 3-2 приведені залежності $\eta_{\text{ст}}$ (у відносних одиницях) від I для різних діаметрів ламп, що наповнені Ar до тиску 3 мм. рт. ст. Температура холодної точки у вказаних залежностях змінна, і визначається питомим навантаженням, що відповідає кожному значенню струму лампи та її діаметру. Користуючись залежностями неважко визначити $\eta_{\text{ст}}$ варіантів ЛЛ, що порівнюємо з урахуванням рівняння 3-1 і $\eta_{\text{д}}$.

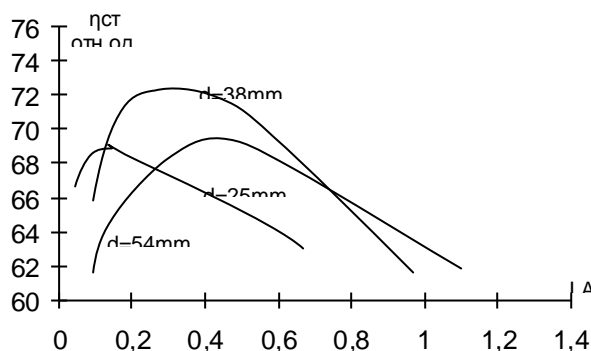


Рис.3.2.

Довжина лампи $l_{\text{л}}$ також має помітний вплив на економічні показники установки. При збільшенні $l_{\text{л}}$ зростає вартість лампи, вартість світильників (інколи і ПРА), тобто капітальні та експлуатаційні витрати. Але при цьому для

варіантів з постійним струмом [$d_2 = \text{const}$] за рахунок росту довжини позитивного стовпа, тобто зменшення частини приелектродних втрат збільшується $\eta_{\text{л}}$, що асимптотично наближується до $\eta_{\text{ст}}$ (рис. 3.3). Однак суттєве збільшення $I_{\text{л}}$ в тому разі, коли постійними залишаються потужність та діаметр лампи, приводить до зменшення $\eta_{\text{л}}$ (рис. 3.4), внаслідок помітного зниження питомого навантаження, тобто зменшення $t_{\text{хт}}^{\circ}$ проти оптимальних значень.

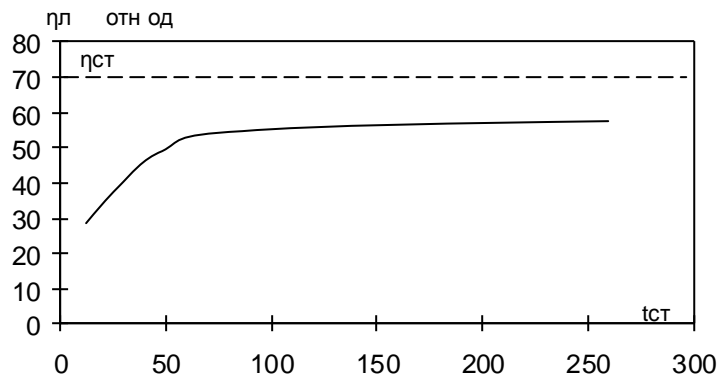


Рис.3.3

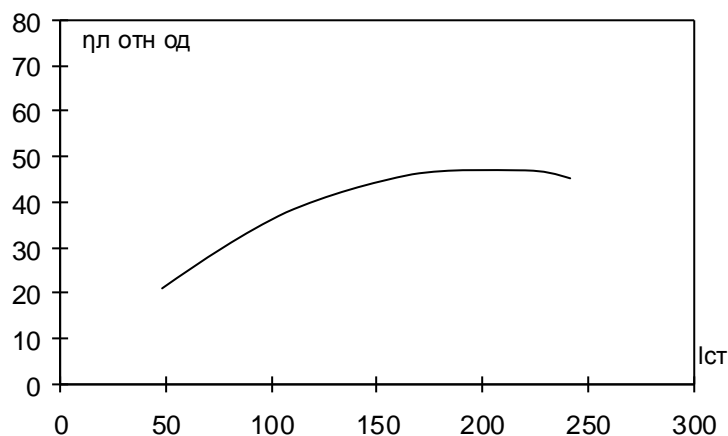


Рис.3.4

У зв'язку зі сказаним та враховуючи певні технологічні труднощі при виготовленні ЛЛ з великою довжиною трубки, а також пов'язані з цим експлуатаційні незручності, варіанти ЛЛ з довжиною трубки, що перебільшує 2,4 м, відкидаються.

Стабільність світлового потоку ЛЛ у процесі експлуатації залежить від величини питомого навантаження. Згідно з літературними даними і відносне зниження світлового потоку $\Delta\Phi_t$ до моменту часу роботи лампи t прямо пропорційно величині ω (для різних відрізків часу t змінюється величина коефіцієнта пропорційності, - див. розділ 5).

Після попереднього відбору для варіантів ламп, що залишилися з метою перевірки правильності розрахунку $I_{\text{ст}}$, d_2 і $t_{\text{ст}}^{\circ}$ складається зовнішній баланс енергії відповідно до рівнянь (3.1), (3.3), (3.4) і (3.5). Розбіжності лівої та правої частини балансу не повинні перебільшувати $\pm(5 \div 10)\%$.

4. ВИЗНАЧЕННЯ СВІЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВАРІАНТІВ ЛАМП

Світловий потік ЛЛ утворюється світінням шару люмінофору, що збуджується резонансними лініями ртутного розряду з $\lambda_{\text{рез}}=184,9$ та $253,7$ нм, та видимими лініями ртутного розряду з $\lambda_{\text{вид}}=405, 436, 546$ та 577 нм. Основну частину потоку ЛЛ дає випромінювання люмінофору, випромінювання видимих ліній у світловому потоці ламп звичайно складає $8 \div 12\%$. Світловий потік лампи в області позитивного стовпа $\Phi_{\text{ст}}$ може бути розрахований згідно з формулою

$$\Phi_{\text{ст}} = 683 \cdot C \cdot \bar{\eta}_{\text{шар.л.}} (\alpha_{185} \eta_{185} R_{185} \Phi_{1\text{ст}(185)} + \alpha_{254} \eta_{254} R_{254} \Phi_{1\text{ст}(254)}) l_{\text{ст}} + 683 \cdot l_{\text{ст}} \sum_{\lambda_{\text{вид}}} \Phi_{1\text{ст}(\text{вид})} \cdot k(\lambda) \cdot \frac{\tau(\lambda)}{1 - \rho(\lambda)} \quad (4.1)$$

Перший член рівняння (4.1) дає значення світлового потоку від шару люмінофору, другий – від відомих ліній ртутного розряду.

У рівнянні (4.1) прийнято такі значення:

а. $\Phi_{1\text{ст}(185)}$ та $\Phi_{1\text{ст}(254)}$ – питомі (з одиниці довжини позитивного стовпа) енергетичні потоки резонансних ліній ртуті з довжинами хвиль λ відповідно $184,9$ і $253,7$ нм при тих умовах розряду, що розглядаються [Вт/см]. Як відомо, вихід резонансного випромінювання у ртутному розряді низького тиску залежить від струмів лампи, температури хододної точки (тобто тиску насичених парів ртуті), діаметру розрядної трубки, роду та тиску наповнюючого лампу інертного газу. Експериментальні залежності $\Phi_{1\text{ст}(185)}$ та $\Phi_{1\text{ст}(254)}$ від I , d_2 для різних інертних газів та їх тисків при $t_{\text{хт}}^{\circ} = \text{const}$ наведені у табл. 8 ÷ 11 додатків. У табл. 12 наведені енергетичні яскравості резонансних ліній залежно від струму лампи, $t_{\text{хт}}^{\circ}$, роду та тиску інертного газу при діаметрі розрядної трубки $d_2=38$ мм. За своїми оптичними характеристиками позитивний стовп ртутного розряду низького тиску наближається до рівнояркого поверхневого випромінювача, тому при визначенні $\Phi_{1\text{ст}(\lambda_{\text{рез}})}$ згідно з енергетичними яскравостями резонансних ліній іноді використовують закон Ламберта;

б. R_{185} і R_{254} – відповідно квантові відношення для резонансного випромінювання з $\lambda_{\text{рез}}=184,9$ та $254,7$ нм. У випадку збудження попереднього спектра люмінесценції люмінофору однорідним випромінюванням (випадок ЛЛ), під R розуміють відношення середньої енергії кванту люмінесценції до енергії кванту збуджуючого (резонансного) випромінювання, тобто

$$R = \frac{h \bar{\nu}_{\text{л}}}{h \nu_{\text{рез}}} = \frac{\lambda_{\text{рез}}}{\lambda_{\text{л}}}, \quad (4.2)$$

де h – постійна Планка,

$\bar{\nu}_{\text{л}}$ та $\lambda_{\text{л}}$ – відповідно середня частота та середня довжина хвилі кванту люмінесценції;

$\nu_{рез}$ та $\lambda_{рез}$ – частота та довжина хвилі кванту резонансного випромінювання ртутного розряду, що збуджує люмінофор.

Середня довжина хвилі люмінесценції може бути визначена з урахуванням розподілу енергії у спектрі випромінювання люмінофору $\phi_{л}(\lambda)=f(\lambda)$ за співвідношенням:

$$\bar{\lambda}_{л} = \frac{\int \phi_{л}(\lambda) d\lambda}{\int \frac{1}{\lambda} \phi_{л}(\lambda) d\lambda}. \quad (4.3)$$

Розрахунок за рівнянням (4.3) проводиться методом графічного інтегрування відповідних залежностей $\phi_{л}(\lambda)=f(\lambda)$ та $1/\lambda * \phi_{л}(\lambda)=f(\lambda)$. Спектральні характеристики основних типів ЛЛ наведені у додатку рис1(а-д) та рис2(а-е);

в) η_{185} та η_{254} – відповідно квантові виходи люмінофору для резонансних ліній 184,9 та 253,7 нм, що дорівнюють відношенню числа квантів люмінесценції до числа поглинутих люмінофором квантів збуджуючого випромінювання. Для галофосфату кальцію (ГФК), активованого марганцем та сурмою, що використовується як люмінофор в усіх типах ЛЛ $\eta_{185}=2,2$ та $\eta_{254}=0,74$. Але при розрахунках треба враховувати, що в процесі нанесення шару люмінофору, його технологічної обробки та протягом перших 1÷3 годин горіння лампи, величина квантового виходу для обох резонансних ліній ртуті знижується до 0,8 від вказаних вище значень;

г) $\lambda_{рез}$ та $\bar{\eta}_{шар.л.}$ – відповідно коефіцієнт використання збуджуючого резонансного випромінювання у шарі люмінофору та ефективний КПД шару люмінофору, що враховує поглинання потоку люмінесценції. Значення $\lambda_{рез}$ та $\bar{\eta}_{шар.л.}$ встановлюються просторовим розподілом випромінювання джерела, його формою та розмірами, геометрією шару та його розташуванням, а також оптичними характеристиками самого шару, що залежать від його товщини та показників поглинання і розсіювання. При оптимальній товщині шару, прийнятих способах розмолу та нанесення, добуток $\alpha_{рез} * \bar{\eta}_{шар.л.}$ прийнято вважати рівним 0,85÷0,9;

д) С – відносний приведенний коефіцієнт видності люмінофору

$$C = \frac{\int \phi_{л}(\lambda) k(\lambda) d\lambda}{\int \phi_{л}(\lambda) d\lambda}. \quad (4.4)$$

де $k(\lambda)$ – відносний коефіцієнт видності ока (табл.13).

Розрахунок за рівнянням (4.4) проводиться методом графічного інтегрування з використанням залежностей (рисунк 1 і 2 додатків);

е) $\Phi_{1ст(\lambda вид)}$ – питомий (з одиниці довжини) енергетичний потік видимих ліній ртуті у стовпі.

Другий член рівняння (4.1) дає значення світлового потоку від видимих променів ртутного розряду. Величина цього потоку залежить від робочого струму лампи, геометрії колби та ін. Однак частина світлового потоку видимих ліній від потоку ЛЛ незначна, тому при оціночних розрахунках можна вважати, що світлова віддача стовпа $H_{ст}$ за рахунок світлового потоку видимих ліній незалежно від характеристик ЛЛ збільшується на 6-7 лм/Вт, тобто замінити другий член рівняння (4.1) виразом: $(6 \div 7)P_{ст}[\text{лм}]$.

Знаючи $\Phi_{ст}$, неважко визначити $\eta_{ст} = \Phi_{ст} / P_{ст}$, а значить і $\eta_{л}$ за рівнянням (4.1).

Як відомо, у процесі горіння ЛЛ зменшується величина світлового потоку. Розрахунок на рівняння (4.1) дає початкову величину потоку лампи Φ_0 (після 1 – 2 – 3 годин горіння). За номінальний потік ЛЛ Φ_n відповідно до ДСТУ приймається світловий потік ламп після 100 годин горіння, який можна визначити як

$$\Phi_n = \Phi_0(1 - \Delta\Phi_n), \quad (4.5)$$

де $\Delta\Phi_n = (\Phi_0 - \Phi_n) / \Phi_0$ – відносний спад світлового потоку лампи після 100 годин горіння.

Початковий спад світлового потоку $\Delta\Phi_n$ лінійно залежить від питомого навантаження ω

$$\Delta\Phi_n = a\omega, \quad (4.6)$$

де коефіцієнт пропорційності $a = (0,7 \div 2) \text{ см}^2/\text{Вт}$ залежно від типу люмінофору, що використовується.

Світловий потік лампи за час горіння $t = 0,4\tau$ знижується до значення

$$\Phi_{0,4\tau} = \Phi_n(1 - \Delta\Phi_{0,4\tau}), \quad (4.7)$$

де $\Delta\Phi_{0,4\tau} = (\Phi_n - \Phi_{0,4\tau}) / \Phi_n$; з урахуванням зв'язків

$$\Delta\Phi_{0,4\tau} \approx b\omega, \quad (4.8)$$

де $b = (2 \div 5) \text{ см}^2/\text{Вт}$ залежно від люмінофору, що використовується.

Середній за терміном роботи світловий потік лампи $\Phi_{сер}$ можна розрахувати й методом графічного інтегрування за співвідношенням

$$\Phi_{сер} = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} \Phi_t(t) dt. \quad (4.9)$$

(Величина терміну роботи τ – за вказівкою викладача.)

Згідно з літературними даними, $\Phi_{сер} \approx \Phi_{0,4\tau}$, неважко, використовуючи зв'язки, зумовлені залежностями (4.5)–(4.8), оцінити світловий потік ЛЛ до $t = \tau[\Phi_k]$ і побудувати криву $\Phi(t)$ від $t = 0$ до $t = \tau$.

5. ЕКОНОМІЧНЕ ПОРІВНЯННЯ ВАРІАНТІВ ЛАМП

Розраховані варіанти ЛЛ зіставляють за приведеними річними витратам освітлювальної установки $C+K/T_n$ при однакових рівнях освітлення, що утворюється різними варіантами ламп.

Частина капітальних затрат, що змінюються, K складається із вартості ламп $K_{\text{л}}$, світильників $K_{\text{св}}$ і ПРА – $K_{\text{ПРА}}$. Вартість освітлювальної мережі, комутаційної та розподільної апаратури вважається майже одноковою для варіантів освітлювальних установок, що порівнюються, тому вона в розрахунку не враховується.

Таким чином,

$$K = K_{\text{л}} + K_{\text{св}} + K_{\text{ПРА}}. \quad (5.1)$$

Вартість ламп $K_{\text{л}}$ визначається як $K_{\text{л}} = g_{\text{л}} n_{\text{л}}$, де $g_{\text{л}}$ – вартість однієї лампи (залежить від довжини, діаметру та конструктивних особливостей лампи; обирається за вказівкою викладача); $n_{\text{л}}$ – кількість ламп в установці, що забезпечує потрібний рівень освітлення.

$$n_{\text{л}} = K_3 * N / \Phi_n, \quad (5.2)$$

де K_3 – одна із складових коефіцієнта запасу установки, зумовлена зменшенням світлового потоку ламп в процесі експлуатації та режимом обслуговування установки:

$$K_3 = \Phi_n / \Phi_t. \quad (5.3)$$

N – необхідна величина світлового потоку освітлювальної установки, що забезпечує потрібний рівень освітлення з урахуванням інших складових коефіцієнта запасу, зумовлених запиленням світильників та відбиваючих поверхонь приміщення, виходом ЛЛ з ладу та ін.

(Час експлуатації t , для якого визначається Φ_t , залежить від системи обслуговування та кривої розладу ЛЛ; складові коефіцієнта запасу за рахунок вказаних вище причин приймаються однаковими для варіантів ламп, що порівнюються.)

Вартість світильників

$$K_{\text{св}} = g_{\text{св}} n_{\text{св}}, \quad (5.4)$$

де $g_{\text{св}}$ – вартість одного світильника (в основному залежить від типу світильника, кількості ламп в одному світильнику $\mu_{\text{св}}$ та довжини ЛЛ; обирається за вказівкою викладача);

$n_{\text{св}}$ – кількість світильників в освітлювальній установці;

$$n_{\text{св}} = n_{\text{л}} / \mu_{\text{св}}. \quad (5.5)$$

Вартість пускорегулюючих апаратів

$$K_{\text{ПРА}} = g_{\text{ПРА}} n_{\text{ПРА}}, \quad (5.6)$$

де $g_{\text{ПРА}}$ – вартість одного пускорегулюючого апарата (залежить від типу ПРА, кількості ламп $\mu_{\text{ПРА}}$, що одночасно приєднані до апарату, $U_{\text{л}}/U(U_{\text{л}}/U_{\text{xx}})$, потужності ЛЛ та ін.; обирається за вказівкою викладача), а $n_{\text{ПРА}}$ – повна кількість апаратів в освітлювальній установці:

$$n_{\text{ПРА}} = n_{\text{л}} / \mu_{\text{ПРА}}. \quad (5.7)$$

$T_{\text{н}}$ – нормативний строк окуповування для освітлювальних установок приймається рівним 6,7 року.

Частина річних експлуатаційних витрат, що змінюється C , як і в разі ламп розжарювання, складається із вартості електроенергії $C_{\text{е}}$, що споживається установкою; вартості ламп, що змінюються за один рік $C_{\text{л}}$; амортизаційних відрахувань $C_{\text{а}}$; вартості ремонту та обслуговування установки $C_{\text{о}}$ і вартості очищення одного світильника $C_{\text{о4}}$, тобто

$$C = C_{\text{е}} + C_{\text{л}} + C_{\text{а}} + C_{\text{о}} + C_{\text{о4}}. \quad (5.8)$$

Вартість електроенергії:

$$C_{\text{е}} = n_{\text{л}} P_{\text{л}} \beta T g_{\text{ен}} (1 + \Delta U \% / 100), \quad (5.9)$$

де $P_{\text{л}}$ – потужність однієї лампи, що виражена у кВт;

β – коефіцієнт, що враховує втрати потужності у ПРА (залежність від типу ПРА та потужності ламп, що працюють з ним, $\beta = 1,1 \div 1,25$);

T – кількість годин роботи освітлювальної установки за рік (залежить від кількості змін на підприємстві, наявності природного освітлення та ін., $T = 750 \div 6300$ год.);

$g_{\text{ен}}$ – тариф на електроенергію (залежить від типу підприємства, на якому створюється освітлювальна установка);

$\Delta U \%$ - відносне (у %) падіння напруги в освітлювальній мережі до середньої лампи установки ($\Delta U \% = 2,5 \%$).

При визначенні $C_{\text{е}}$ значення T та $g_{\text{ен}}$ обираються за вказівкою викладача.

Вартість ламп, що змінюється протягом року:

$$C_{\text{л}} = K_{\text{л}} * T / \tau, \quad (5.10)$$

річні амортизаційні відрахування

$$C_{\text{а}} = (K - K_{\text{л}}) a / 100, \quad (5.11)$$

де a – відсоток амортизаційних відрахувань ($a = 15 \%$), а вартість обслуговування та ремонту установки:

$$C_{\text{о}} = 0,02 (K - K_{\text{л}} - K_{\text{св}}), \quad (5.12)$$

і, нарешті, вартість очищення освітлювальних приладів

$$C_{04}=C_{041} n_{св} 12/t_{04}, \quad (5.13)$$

де C_{041} – вартість очистки одного світильника (дорівнює $0,2 \div 0,4$ грн. і залежить від типу світильників, їх розмірів, тобто потужності ламп, що працюють у світильнику, розташування освітлювальної арматури в установці та ін);

t_{04} – інтервал між очищеннями, виражений у місяцях (залежить від умов запилення приміщення, особливостей виробничого процесу та ін.; $t_{04}=1 \div 3$ і обирається за вказівкою викладача).

Варіант ЛЛ, що має мінімальні приведені річні витрати, є оптимальним для даних умов експлуатації освітлювальної установки.

Результати розрахунків геометричних та світлових параметрів ЛЛ рекомендується звести у таблицю А, а результати економічних розрахунків - у таблицю В.

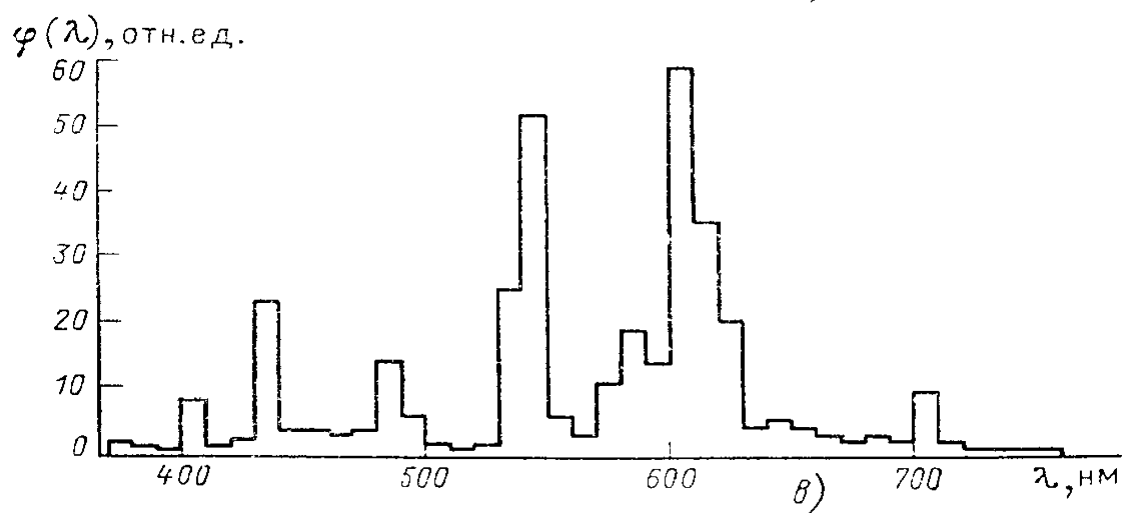
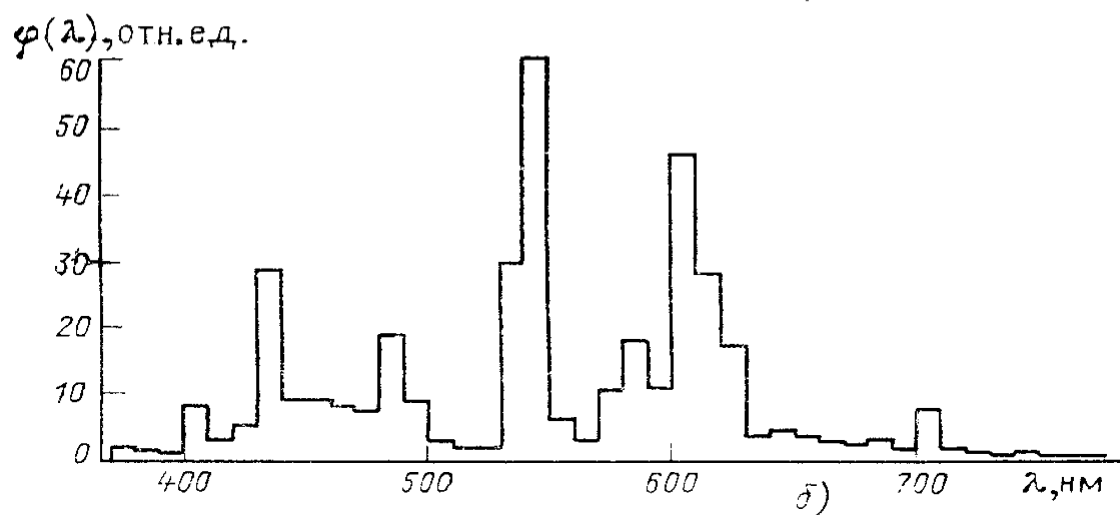
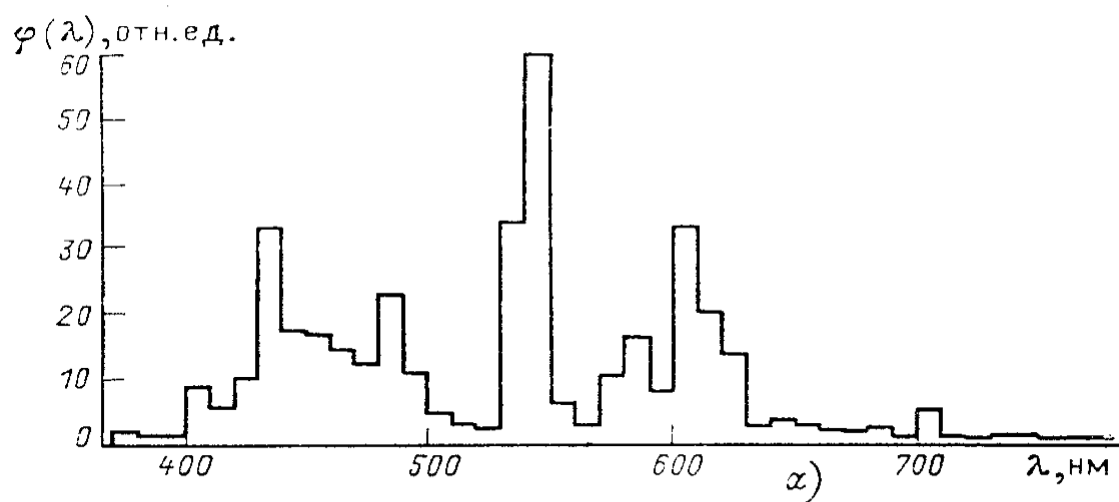
Таблиця А

Номер варіанта	U, В	m	U _л , В	I, А	Інертний газ, тиск (мм.рт.ст.)	U _{ак} , В	U _{ст} , В
D ₂ , см	ε, В/см	l _{см} , В/см	L _л , см	P _{ст} , Вт	ω, Вт	t ⁰ _{х.т.} , °С	a _{ст} .P _{ст} , Вт
(q _т +q _{випр})х πd ₂ /l ₂ , Вт	F _{ст} , Вт	H _{ст} , Лм/Вт	H _л , Лм/Вт	F _н , Лм	F ₄₀₀₀ , Лм	Fτ, Лм	

Таблиця В

Номер варіанта	k _з	n _л	K _л , грн	K _{св} , грн	K _{пра} , грн	K, грн
C _е , грн	C _л , грн	C _а , грн	C _о , грн	C _{ог} , грн	C, грн	C+K/Тн, грн

Додатки й довідкові матеріали



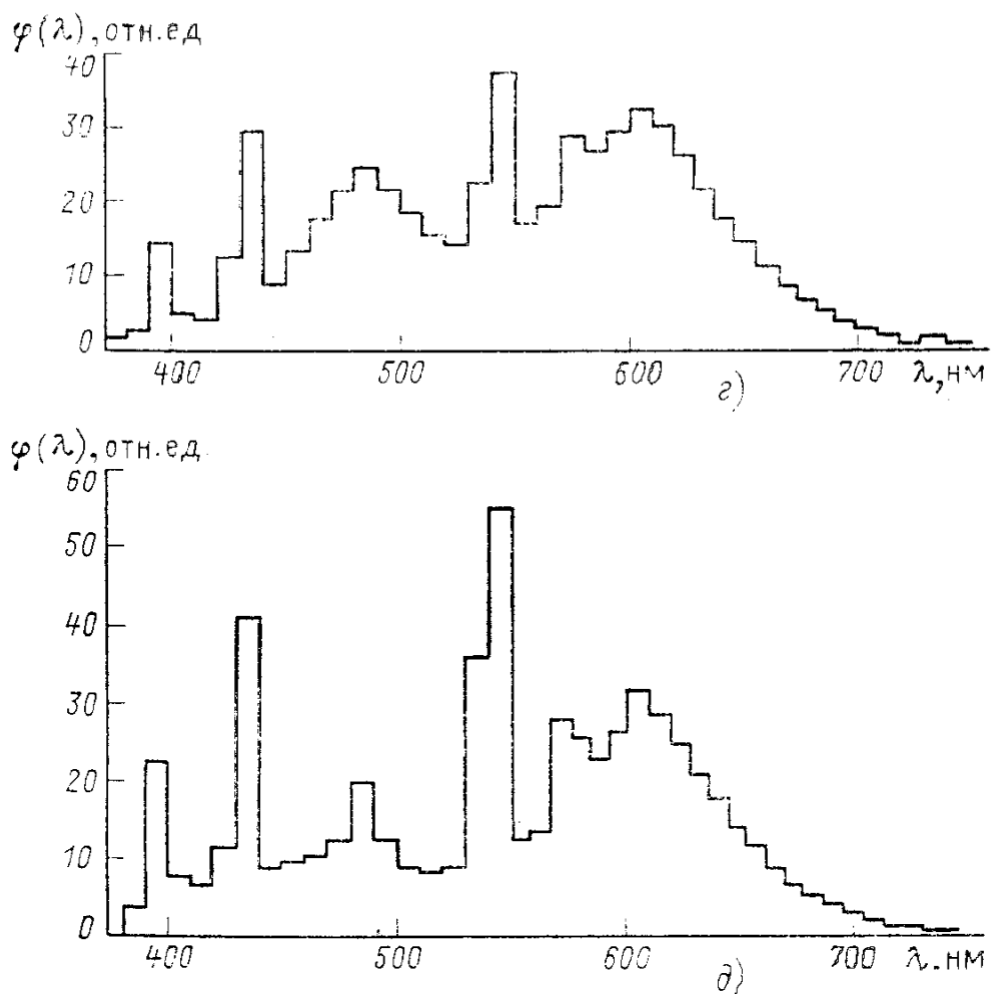


Рис. 1 Спектральні характеристики ЛЛ різної кольоровості з рідкоземельними вузько смуговими люмінофорами . Ордината $\phi(\lambda)=1$ 200 МВт (1000 лм \times 10 нм)

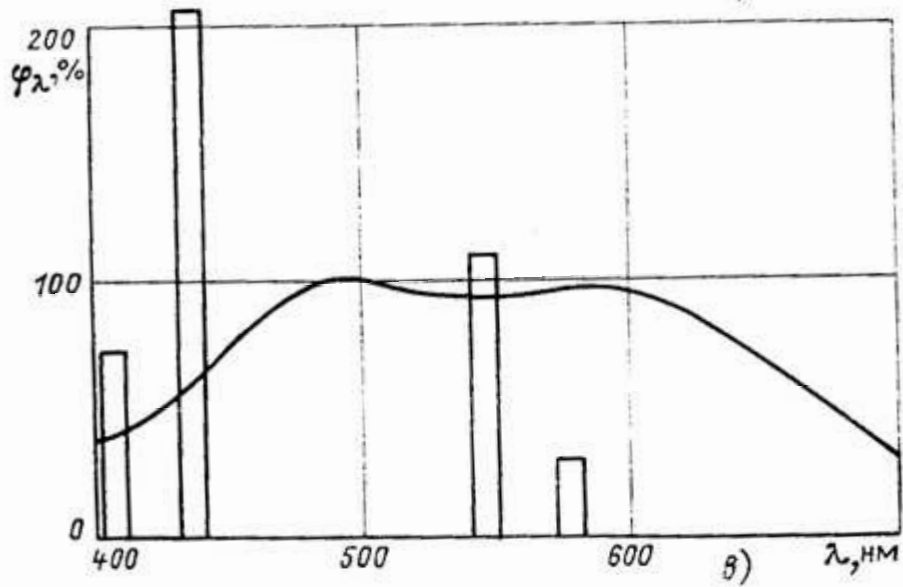
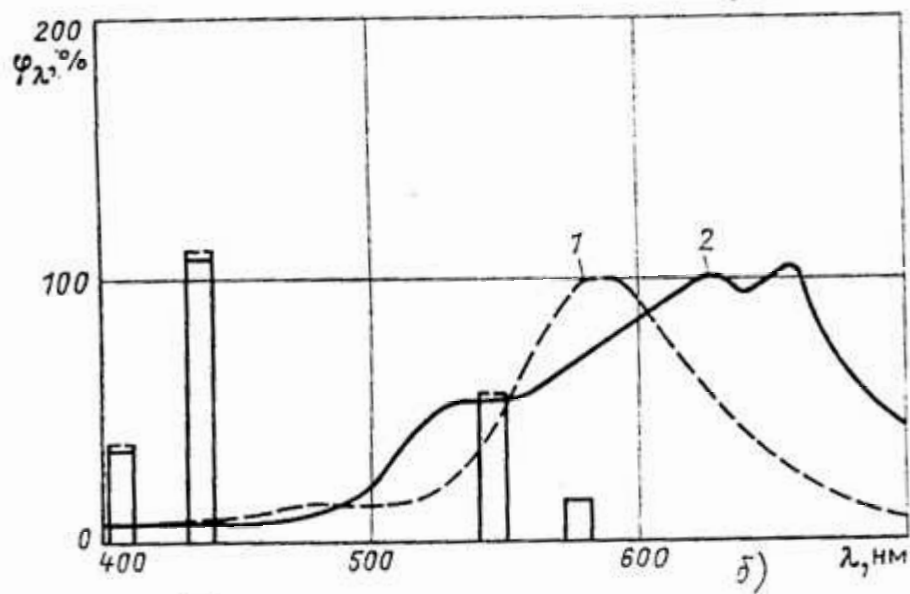
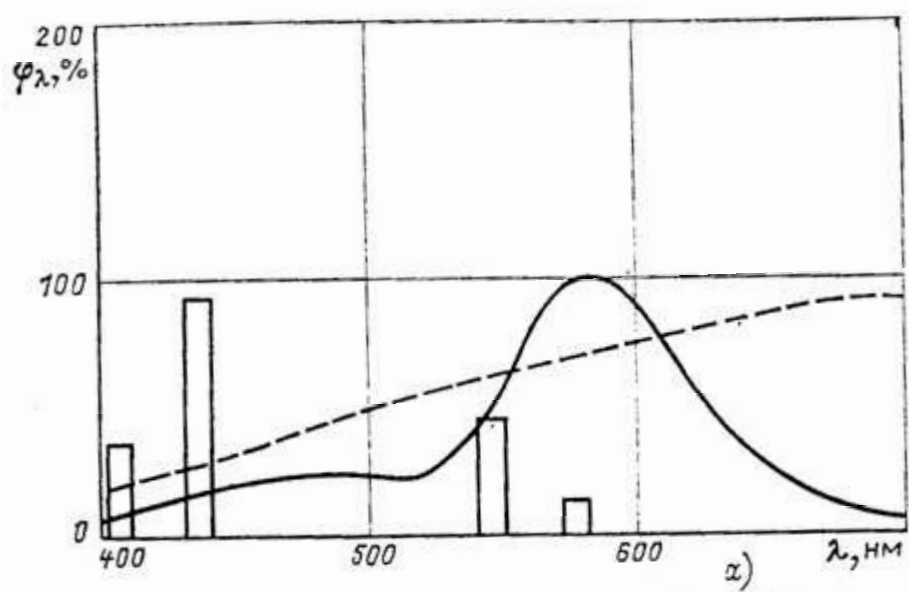
а – лампа ЛД (денного світла)

б – ЛБ (білого світла)

в – ЛТБ (теплого білого світла)

г – ЛБЦ («делюкс» білого світла)

д – ЛТБЦ («делюкс» теплого білого світла)



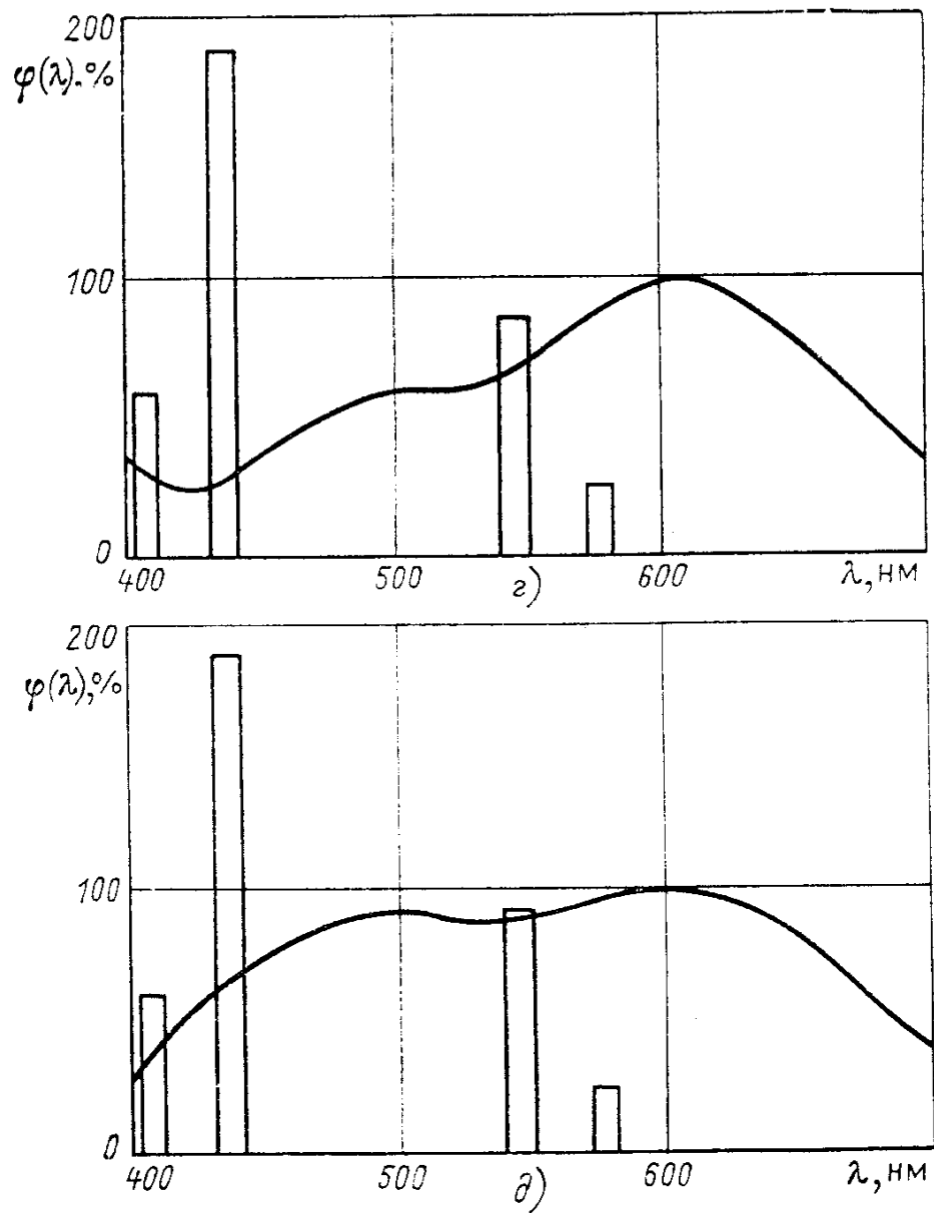


Рис. 2. Спектральні характеристики ЛЛ різної кольоровості

а – ЛБ, пунктирна крива – випромінювання АЧТ при $T=3600\text{ K}$,
 б – ЛТБ (1) и ЛТБЦ (2);
 в – ЛДЦ;
 г – ЛЕЦ
 д - ЛХЕЦ

Таблиця 1 - Катодне падіння напруги, $P_{Hg} = (6-10) \cdot 10^{-3}$ мм.рт.ст.

$P_{из}$, мм.рт.ст.	Рід газу			
	Ne	Ar	Kr	Xe
4.0	11	8.5	6	4.5
2.0	15	9.5	7	5.5
0.5	18	11	8	6.5
0.07	22	12	10	8.5

Таблиця 2 - Градієнт у позитивному стовпі, В/см, неон-ртуть

,мм	P мм.рт.ст	I, A											
		0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,6	1	2
19	4	1,94	1,90	1,86	1,82	1,78	1,76	1,73	1,71	1,67	1,63	1,49	1,36
	3	1,87	1,84	1,80	1,77	1,74	1,71	1,69	1,67	1,63	1,60	1,47	1,34
	2	1,80	1,77	1,75	1,72	1,69	1,67	1,65	1,63	1,60	1,57	1,45	1,32
	1	1,75	1,72	1,69	1,66	1,64	1,62	1,60	1,58	1,55	1,52	1,42	1,31
	0,5	1,72	1,69	1,67	1,64	1,61	1,59	1,57	1,56	1,53	1,50	1,40	1,30
25	4	1,54	1,52	1,50	1,48	1,46	1,44	1,42	1,40	1,37	1,34	1,21	1,11
	3	1,42	1,40	1,39	1,37	1,36	1,34	1,32	1,31	1,28	1,26	1,15	1,06
	2	1,30	1,29	1,28	1,26	1,25	1,24	1,22	1,21	1,19	1,17	1,09	1,00
	1	1,18	1,17	1,16	1,15	1,14	1,13	1,11	1,10	1,09	1,07	1,00	0,92
	0,5	1,12	1,11	1,10	1,09	1,08	1,07	1,06	1,05	1,04	1,02	0,96	0,88
38	4	1,24	1,22	1,21	1,19	1,17	1,15	1,14	1,12	1,10	1,07	0,98	0,85
	3	1,18	1,16	1,15	1,13	1,12	1,10	1,09	1,07	1,05	1,03	0,94	0,82
	2	1,12	1,11	1,09	1,08	1,06	1,05	1,03	1,02	1,00	0,98	0,89	0,78
	1	1,03	1,02	1,01	1,00	0,99	0,98	0,96	0,95	0,94	0,92	0,85	0,73
	0,5	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,89	0,83	0,71
	0,07	0,85	0,84	0,83	0,81	0,80	0,79	0,79	0,78	0,77	0,76	0,71	0,66
54	4	1,05	1,05	1,04	1,04	1,03	1,02	1,01	1,01	0,99	0,98	0,93	0,82
	3	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91	0,90	0,85	0,76
	2	0,89	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84	0,84	0,83	0,82	0,81	0,77	0,69
	1	0,82	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78	0,78	0,77	0,77	0,76	0,71	0,64
	0,5	0,79	0,78	0,78	0,77	0,76	0,76	0,75	0,75	0,74	0,73	0,68	0,62
	0,07	-				-					-	-	-

Таблиця 3 - Градієнт у позитивному стовпі, В/см, аргон-ртуть

,мм	Р мм.рт.ст	I, A											
		0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,6	1	2
19	4	1,70	1,63	1,57	1,50	1,43	1,39	1,34	1,30	1,23	1,16	0,99	0,79
	3	1,69	1,63	1,56	1,50	1,43	1,39	1,35	1,31	1,25	1,19	1,02	0,82
	2	1,68	1,62	1,56	1,49	1,43	1,40	1,36	1,33	1,27	1,22	1,05	0,84
	1	1,66	1,61	1,57	1,52	1,47	1,44	1,41	1,38	1,34	1,29	1,14	0,98
	0,5	1,65	1,61	1,57	1,53	1,49	1,46	1,44	1,41	1,37	1,33	1,18	1,05
	0,07	1,62	1,60	1,58	1,55	1,53	1,52	1,51	1,50	1,48	1,46	1,40	1,36
25	4	1,35	1,31	1,28	1,24	1,20	1,17	1,13	1,10	1,05	1,00	0,83	0,65
	3	1,27	1,23	1,19	1,15	1,12	1,09	1,06	1,04	1,00	0,96	0,81	0,65
	2	1,18	1,14	1,11	1,07	1,03	1,01	0,99	0,97	0,94	0,91	0,79	0,64
	1	1,12	1,09	1,06	1,03	1,00	0,98	0,97	0,95	0,92	0,89	0,78	0,67
	0,5	1,09	1,07	1,04	1,02	0,99	0,97	0,95	0,94	0,91	0,88	0,78	0,69
	0,07	1,00	0,99	0,97	0,96	0,94	0,93	0,92	0,91	0,89	0,87	0,84	0,75
38	4	0,94	0,92	0,91	0,89	0,87	0,86	0,84	0,83	0,80	0,78	0,67	0,55
	3	0,90	0,88	0,86	0,85	0,83	0,82	0,80	0,79	0,77	0,75	0,65	0,55
	2	0,85	0,84	0,82	0,81	0,79	0,78	0,76	0,75	0,73	0,71	0,63	0,54
	1	0,81	0,80	0,78	0,77	0,75	0,74	0,73	0,72	0,70	0,68	0,62	0,55
	0,5	0,79	0,78	0,76	0,75	0,73	0,72	0,71	0,70	0,69	0,67	0,61	0,56
	0,07	0,69	0,69	0,68	0,68	0,67	0,66	0,66	0,65	0,64	0,63	0,60	0,55
54	4	0,84	0,83	0,82	0,80	0,79	0,78	0,77	0,76	0,74	0,72	0,62	0,50
	3	0,78	0,77	0,76	0,75	0,74	0,73	0,72	0,71	0,70	0,69	0,59	0,48
	2	0,72	0,71	0,70	0,69	0,68	0,68	0,67	0,67	0,66	0,65	0,55	0,46
	1	0,67	0,66	0,65	0,64	0,63	0,63	0,62	0,61	0,60	0,59	0,54	0,47
	0,5	0,64	0,63	0,63	0,62	0,61	0,60	0,59	0,59	0,57	0,56	0,53	0,47
	0,07	0,57	0,57	0,56	0,56	0,55	0,55	0,54	0,54	0,54	0,53	0,50	0,46

Таблиця 4 - Градієнт у позитивному стовпі, В/см, криптон-ртуть

	Р мм.рт.ст	I, A											
		0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,6	1	2
19	4	1,28	1,22	1,15	1,09	1,02	0,99	0,95	0,92	0,87	0,82	0,66	0,47
	3	1,25	1,19	1,14	1,08	1,02	0,99	0,95	0,92	0,87	0,82	0,67	0,49
	2	1,22	1,17	1,12	1,07	1,02	0,99	0,95	0,92	0,87	0,82	0,67	0,50
	1	1,25	1,20	1,15	1,10	1,05	1,02	1,00	0,97	0,94	0,90	0,78	0,63
	0,5	1,26	1,21	1,16	1,11	1,06	1,04	1,02	1,00	0,97	0,94	0,83	0,70
	0,07	1,36	1,34	1,33	1,31	1,29	1,28	1,26	1,25	1,23	1,21	1,14	1,04
25	4	1,10	1,05	1,00	0,95	0,90	0,88	0,85	0,83	0,79	0,75	0,60	0,43
	3	1,03	0,99	0,95	0,92	0,88	0,86	0,83	0,81	0,78	0,74	0,60	0,49
	2	0,95	0,93	0,91	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80	0,76	0,73	0,60	0,54
	1	1,02	0,98	0,94	0,90	0,86	0,84	0,82	0,81	0,78	0,75	0,64	0,53
	0,5	1,06	1,01	0,96	0,91	0,86	0,84	0,83	0,81	0,79	0,76	0,66	0,52
	0,07	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89	0,88	0,88	0,87	0,86	0,85	0,78	0,68
38	4	0,87	0,84	0,82	0,79	0,76	0,74	0,71	0,69	0,66	0,62	0,49	0,35
	3	0,78	0,75	0,73	0,71	0,69	0,67	0,66	0,64	0,62	0,59	0,48	0,36
	2	0,68	0,67	0,65	0,64	0,62	0,61	0,60	0,59	0,58	0,56	0,47	0,36
	1	0,67	0,65	0,64	0,63	0,61	0,60	0,59	0,58	0,56	0,55	0,47	0,39
	0,5	0,66	0,65	0,64	0,62	0,61	0,60	0,59	0,58	0,56	0,54	0,47	0,40
	0,07	0,66	0,66	0,65	0,65	0,64	0,63	0,63	0,62	0,61	0,60	0,58	0,53
54	4	0,83	0,81	0,79	0,76	0,74	0,72	0,70	0,68	0,64	0,61	0,47	0,33
	3	0,73	0,71	0,70	0,68	0,66	0,65	0,63	0,62	0,59	0,57	0,47	0,33
	2	0,63	0,62	0,61	0,59	0,58	0,57	0,56	0,56	0,54	0,53	0,46	0,32
	1	0,57	0,56	0,55	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,50	0,49	0,43	0,34
	0,5	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,50	0,50	0,49	0,48	0,47	0,42	0,35
	0,07	0,54	0,54	0,53	0,53	0,52	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,48	0,44

Таблиця 5 - Градієнт у позитивному стовпі, В/см, ксенон-ртуть

,мм	Р мм.рт.ст	I, A											
		0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,6	1	2
19	4	1,10	1,02	0,94	0,86	0,78	0,75	0,71	0,68	0,63	0,58	0,45	0,39
	3	1,01	0,95	0,90	0,84	0,78	0,75	0,72	0,69	0,64	0,59	0,48	0,41
	2	0,92	0,89	0,85	0,82	0,78	0,75	0,72	0,69	0,65	0,60	0,50	0,42
	1	0,98	0,96	0,93	0,91	0,88	0,86	0,83	0,81	0,77	0,73	0,62	0,52
	0,5	1,01	0,99	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89	0,87	0,83	0,80	0,68	0,57
	0,07	1,06	1,05	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,00	0,99	0,97	0,92	0,81
25	4	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,76	0,71	0,67	0,61	0,54	0,38	0,32
	3	0,93	0,89	0,85	0,80	0,76	0,72	0,69	0,65	0,60	0,54	0,37	0,31
	2	0,86	0,83	0,79	0,76	0,72	0,69	0,66	0,63	0,59	0,54	0,36	0,29
	1	0,89	0,86	0,83	0,81	0,78	0,76	0,73	0,71	0,68	0,64	0,50	0,37
	0,5	0,90	0,88	0,86	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75	0,72	0,69	0,57	0,41
	0,07	0,93	0,94	0,95	0,95	0,96	0,94	0,91	0,89	0,86	0,82	0,76	0,63
38	4	0,80	0,76	0,73	0,69	0,65	0,62	0,59	0,56	0,52	0,47	0,33	0,27
	3	0,71	0,68	0,66	0,63	0,60	0,58	0,55	0,53	0,49	0,46	0,32	0,27
	2	0,62	0,60	0,59	0,57	0,55	0,53	0,51	0,50	0,47	0,44	0,31	0,26
	1	0,59	0,58	0,57	0,55	0,54	0,52	0,51	0,50	0,47	0,45	0,36	0,31
	0,5	0,58	0,57	0,56	0,54	0,53	0,52	0,51	0,50	0,48	0,46	0,39	0,34
	0,07	0,63	0,63	0,62	0,62	0,61	0,61	0,60	0,60	0,59	0,58	0,56	0,51
54	4	0,72	0,69	0,66	0,63	0,60	0,58	0,55	0,53	0,49	0,45	0,31	0,21
	3	0,65	0,63	0,61	0,58	0,56	0,54	0,52	0,49	0,46	0,43	0,31	0,21
	2	0,58	0,57	0,55	0,54	0,52	0,50	0,48	0,46	0,43	0,40	0,3	0,20
	1	0,53	0,51	0,50	0,49	0,47	0,46	0,45	0,43	0,41	0,39	0,32	0,22
	0,5	0,50	0,49	0,48	0,46	0,45	0,44	0,43	0,42	0,41	0,39	0,33	0,23
	0,07	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,51	0,51	0,51	0,50	0,50	0,47	0,53

Таблиця 6 - Пружність насичених парів ртуті

Температура ($t^0_{\text{хт}}$), C^0	0	10	20	30	40	50	60	70	80
Пружність пару, мм рт. ст.	0,21 $\times 10^{-3}$	0,54 $\times 10^{-3}$	1,3 $\times 10^{-3}$	3,0 $\times 10^{-3}$	6,5 $\times 10^{-3}$	1,34 $\times 10^{-2}$	2,65 $\times 10^{-2}$	5,0 $\times 10^{-2}$	9,2 $\times 10^{-2}$
Температура ($t^0_{\text{хт}}$), C^0	90	100	110	120	130	140	150	160	170
Пружність пару, мм рт. ст.	0,163	0,279	0,466	0,756	1,197	1,854	2,81	4,18	6,10

Таблиця 7 - Значення коефіцієнта А при роботі люмінесцентних ламп у спокійному повітрі при нормальному тиску

$t^0_{\text{окр.}}, C^0$	-50	0	+20	+40	+60	+100	+200
А	$4,14 \times 10^{-4}$	$3,94 \times 10^{-4}$	$3,87 \times 10^{-4}$	$3,78 \times 10^{-4}$	$3,69 \times 10^{-4}$	$3,60 \times 10^{-4}$	$3,33 \times 10^{-4}$

Таблиця 8 - Питомий енергетичний потік резонансних ліній (неон-ртуть)

d2 MM	P	I, A											
(t*TC')	MM,PT.CT	0,100	0,150	0,200	0,250	0,300	0,350	0,400	0,450	0,500	0,600	1,000	2,000
Λ=184,9 HM													
19,0 (57)	4,000	0,015	0,021	0,027	0,033	0,040	0,042	0,019	0,051	0,040	0,062	0,081	0,110
	3,000	0,014	0,020	0,027	0,034	0,041	0,044	0,034	0,053	0,050	0,065	0,085	0,116
	2,000	0,013	0,020	0,027	0,035	0,042	0,045	0,050	0,055	0,059	0,068	0,088	0,121
	1,000	0,014	0,022	0,030	0,038	0,046	0,050	0,055	0,060	0,065	0,075	0,099	0,144
	0,500	0,014	0,022	0,031	0,039	0,048	0,052	0,057	0,063	0,068	0,079	0,104	0,155
	0,070	0,013	0,019	0,024	0,030	0,035	0,040	0,046	0,052	0,057	0,068	0,099	0,169
25,0 (43)	4,000	0,011	0,013	0,016	0,018	0,021	0,025	0,030	0,036	0,041	0,052	0,068	0,091
	3,000	0,011	0,013	0,016	0,018	0,021	0,025	0,031	0,037	0,042	0,054	0,071	0,096
	2,000	0,011	0,013	0,016	0,018	0,021	0,025	0,031	0,038	0,043	0,055	0,074	0,100
	1,000	0,010	0,013	0,015	0,018	0,020	0,025	0,032	0,038	0,044	0,057	0,082	0,116
	0,500	0,010	0,013	0,015	0,017	0,020	0,024	0,032	0,039	0,045	0,058	0,085	0,124
	0,070	0,009	0,011	0,013	0,015	0,018	0,022	0,028	0,035	0,040	0,052	0,082	0,134
38,0 (40)	4,000	0,007	0,010	0,014	0,017	0,021	0,023	0,026	0,029	0,031	0,037	0,054	0,081
	3,000	0,007	0,010	0,014	0,017	0,021	0,023	0,026	0,029	0,032	0,038	0,056	0,087
	2,000	0,007	0,010	0,014	0,017	0,021	0,023	0,026	0,030	0,033	0,039	0,059	0,094
	1,000	0,007	0,010	0,013	0,017	0,020	0,023	0,026	0,030	0,033	0,039	0,061	0,106
	0,500	0,007	0,010	0,013	0,017	0,020	0,023	0,026	0,030	0,033	0,039	0,063	0,112
	0,070	0,006	0,009	0,012	0,015	0,018	0,020	0,023	0,027	0,029	0,036	0,059	0,112
54,0 (40)	4,000	0,005	0,007	0,009	0,011	0,013	0,015	0,017	0,020	0,022	0,026	0,041	0,066
	3,000	0,005	0,007	0,009	0,011	0,013	0,015	0,018	0,020	0,022	0,027	0,041	0,068
	2,000	0,005	0,007	0,009	0,011	0,013	0,015	0,018	0,020	0,023	0,028	0,042	0,071
	1,000	0,004	0,006	0,009	0,011	0,013	0,015	0,017	0,020	0,022	0,027	0,042	0,075
	0,500	0,004	0,006	0,009	0,011	0,013	0,015	0,017	0,020	0,022	0,027	0,042	0,077
	0,070	0,003	0,005	0,006	0,008	0,010	0,012	0,013	0,015	0,017	0,021	0,034	0,067

d ₂ мм	P	I, А											
(t'×tС°)	мм.рт.ст	0,100	0,150	0,200	0,250	0,300	0,350	0,400	0,450	0,500	0,600	1,000	2,000
Λ=253,7													

Таблиця 9 - Питомий енергетичний потік резонансних ліній (аргон-ртуть)

d2 мм	P	I, A											
(t°XC°)	мм.рт.ст	0,100	0,150	0,200	0,250	0,300	0,350	0,400	0,450	0,500	0,600	1,000	2,000
Λ=184,9													
HM													
19,000 (57)	4,000	0,017	0,026	0,034	0,043	0,052	0,057	0,063	0,070	0,075	0,087	0,116	0,180
	3,000	0,016	0,024	0,032	0,040	0,049	0,054	0,061	0,068	0,073	0,087	0,119	0,181
	2,000	0,015	0,022	0,030	0,038	0,045	0,050	0,058	0,066	0,072	0,086	0,122	0,182
	1,000	0,012	0,019	0,025	0,031	0,038	0,042	0,048	0,055	0,061	0,073	0,111	0,172
	0,500	0,011	0,017	0,022	0,028	0,034	0,038	0,044	0,050	0,055	0,066	0,106	0,167
0,070													
25,000 (43)	4,000	0,012	0,019	0,026	0,033	0,039	0,044	0,050	0,057	0,063	0,075	0,103	0,167
	3,000	0,012	0,019	0,026	0,032	0,039	0,043	0,050	0,057	0,063	0,075	0,104	0,194
	2,000	0,011	0,018	0,025	0,032	0,039	0,043	0,050	0,057	0,063	0,076	0,105	0,172
	1,000	0,010	0,015	0,022	0,027	0,034	0,038	0,043	0,049	0,054	0,067	0,099	0,163
	0,500	0,009	0,014	0,020	0,026	0,031	0,035	0,040	0,046	0,050	0,061	0,096	0,158
0,070													
38,000 (40)	4,000	0,008	0,013	0,019	0,025	0,030	0,034	0,039	0,044	0,048	0,057	0,091	0,158
	3,000	0,008	0,013	0,018	0,023	0,028	0,032	0,037	0,043	0,047	0,058	0,091	0,163
	2,000	0,007	0,012	0,017	0,022	0,026	0,030	0,036	0,042	0,047	0,058	0,091	0,168
	1,000	0,006	0,011	0,015	0,019	0,024	0,028	0,034	0,039	0,044	0,055	0,084	0,160
	0,500	0,006	0,010	0,014	0,019	0,023	0,027	0,033	0,038	0,043	0,054	0,081	0,155
0,070	0,005	0,008	0,011	0,014	0,017	0,021	0,026	0,031	0,036	0,045	0,066	0,143	
54,000 (40)	4,000	0,003	0,007	0,010	0,014	0,018	0,020	0,023	0,026	0,029	0,034	0,056	0,095
	3,000	0,004	0,007	0,010	0,014	0,017	0,019	0,022	0,026	0,028	0,034	0,056	0,098
	2,000	0,005	0,008	0,011	0,013	0,016	0,019	0,022	0,025	0,027	0,034	0,056	0,101
	1,000	0,005	0,007	0,009	0,012	0,014	0,016	0,019	0,022	0,025	0,030	0,047	0,096
	0,500	0,005	0,007	0,009	0,011	0,013	0,015	0,018	0,021	0,023	0,029	0,043	0,086
0,070													

d ₂ мм	P	I, А											
(t'хТС°)	Мм.п.т.ст	0,100	0,150	0,200	0,250	0,300	0,350	0,400	0,450	0,500	0,600	1,000	2,000
Λ=253,7													
HM													
19,000 (57)	4,000	0,068	0,091	0,116	0,140	0,165	0,177	0,196	0,215	0,231	0,266	0,368	0,564
	3,000	0,061	0,086	0,112	0,135	0,161	0,173	0,194	0,214	0,231	0,266	0,378	0,616
	2,000	0,056	0,081	0,107	0,131	0,156	0,170	0,191	0,212	0,229	0,266	0,390	0,669
	1,000	0,053	0,074	0,096	0,117	0,140	0,154	0,173	0,193	0,208	0,245	0,357	0,614
	0,500	0,051	0,072	0,091	0,112	0,133	0,145	0,165	0,184	0,200	0,235	0,341	0,588
	0,070												
25,000 (43)	4,000	0,070	0,098	0,128	0,156	0,186	0,201	0,226	0,250	0,271	0,317	0,434	0,704
	3,000	0,067	0,095	0,124	0,152	0,182	0,198	0,222	0,247	0,266	0,310	0,439	0,730
	2,000	0,063	0,093	0,121	0,149	0,179	0,194	0,219	0,242	0,261	0,305	0,445	0,756
	1,000	0,054	0,081	0,107	0,131	0,159	0,173	0,196	0,217	0,235	0,277	0,417	0,702
	0,500	0,051	0,075	0,100	0,124	0,149	0,163	0,184	0,205	0,222	0,263	0,403	0,676
	0,070												
38,000 (40)	4,000	0,065	0,093	0,121	0,149	0,177	0,189	0,208	0,228	0,243	0,278	0,438	0,649
	3,000	0,061	0,089	0,116	0,144	0,170	0,184	0,207	0,229	0,247	0,285	0,429	0,642
	2,000	0,060	0,086	0,112	0,138	0,165	0,180	0,205	0,229	0,249	0,294	0,420	0,637
	1,000	0,054	0,079	0,103	0,130	0,154	0,170	0,193	0,217	0,236	0,278	0,406	0,625
	0,500	0,053	0,075	0,100	0,124	0,149	0,165	0,187	0,210	0,229	0,271	0,399	0,620
	0,070	0,040	0,056	0,074	0,091	0,109	0,119	0,137	0,154	0,168	0,201	0,319	0,532
54,000 (40)	4,000	0,053	0,075	0,098	0,121	0,144	0,159	0,182	0,205	0,224	0,266	0,403	0,600
	3,000	0,049	0,072	0,095	0,116	0,138	0,152	0,177	0,198	0,217	0,257	0,387	0,597
	2,000	0,047	0,068	0,091	0,112	0,133	0,147	0,170	0,191	0,210	0,250	0,371	0,592
	1,000	0,046	0,063	0,084	0,103	0,123	0,135	0,156	0,179	0,196	0,235	0,348	0,569
	0,500	0,044	0,061	0,081	0,098	0,117	0,130	0,151	0,172	0,189	0,226	0,338	0,558
	0,070												

Таблиця 10 - Питомий енергетичний потік резонансних ліній (криптон-ртуть)

d ₂ мм		P	I, А											
(t°хТС°)		мм.рт.ст	0,100	0,150	0,200	0,250	0,300	0,350	0,400	0,450	0,500	0,600	1,000	2,000
		Λ=184,9												

d ₂ мм	P	I, А											
(t°ХtC°)	мм.рт.ст	0, 100	0, 150	0, 200	0, 250	0, 300	0, 350	0, 400	0, 450	0, 500	0, 600	1, 000	2, 000
Λ=253,7													

Таблица 11 - Питомый энергетичний потік резонансних ліній (ксенон-ртуть)

d ₂ мм	P	I, А											
(t°XC°)	мм.рт.ст	0,100	0,150	0,200	0,250	0,300	0,350	0,400	0,450	0,500	0,600	1,000	2,000
Λ=184,9													

d ₂ мм	P	I, А											
(t°ХТС°)	мм.рт.ст	0,100	0,150	0,200	0,250	0,300	0,350	0,400	0,450	0,500	0,600	1,000	2,000
Λ=253,7													

Таблиця 12 - Енергетична яскравість резонансних ліній L_e [мВт/стер.см²],
діаметр трубки 38 мм

I, А	$t_{\text{хт}}^0$, C°	λ_p нм	184,9					253,7				
		Рід газу	Kr		Ar		Ne	Kr		Ar		Ne
		$P_{\text{из}}$,мм. рт.ст	2	1	3	1	2	2	1	3	1	2
0,4	20		0,237	0,372	-	-	-	1,93	2,31	-	-	-
	30		0,43	0,56	0,74	0,84	-	3,2	3,7	4,5	5,0	-
	40		0,55	0,57	0,78	0,77	1,04	4,0	4,0	4,9	4,9	6,1
	50		0,56	0,57	0,74	0,70	0,94	3,8	3,6	4,5	4,4	5,4
	60		-	-	0,73	0,66	0,90	-	-	3,8	3,6	4,7
	70		-	-	-	-	0,87	-	-	-	-	4,1
0,8	20		0,28	0,50	-	-	-	2,47	3,33	-	-	-
	30		0,65	0,87	1,18	1,48	-	4,7	5,8	7,2	8,0	-
	40		0,89	1,07	1,37	1,49	2,11	6,1	6,8	7,6	8,0	10,4
	50		1,01	1,11	1,42	1,42	1,94	6,0	5,7	7,2	7,2	9,2
	60		-	-	1,46	1,35	1,90	-	-	5,9	5,8	7,8
	70		-	-	-	-	1,86	-	-	-	-	6,6
1,5	20		0,36	0,60	-	-	-	3,2	4,4	-	-	-
	30		0,70	1,15	1,58	2,20	-	5,8	7,6	9,3	12,5	-
	40		1,21	1,65	2,08	2,40	3,40	7,6	9,1	10,4	12,3	16,1
	50		1,54	1,62	2,20	2,44	3,34	7,7	7,6	9,4	10,4	14,0
	60		-	-	2,27	2,38	3,30	-	-	7,5	8,3	11,4
	70		-	-	-	-	3,21	-	-	-	-	9,4
2,0	20		0,37	0,70	-	-	-	3,5	5,2	-	-	-
	30		0,70	1,27	1,73	2,58	-	6,1	8,6	10,4	14,6	-
	40		1,28	1,90	2,31	2,84	3,88	8,1	10,3	11,6	14,2	18,5
	50		1,69	2,04	2,48	2,97	3,96	8,4	8,5	10,2	12,0	16,4
	60		-	-	2,58	2,85	4,00	-	-	8,0	9,9	13,4
	70		-	-	-	-	3,94	-	-	-	-	10,7

Таблиця 13 - Відносна спектральна світлова ефективність випромінювання

λ , нм	400	410	420	430	440	450	460	470	480	490
$k(\lambda)$	0.0004	0.0012	0.0040	0.0116	0.023	0.038	0.060	0.091	0.139	0.208
λ , нм	500	510	520	530	540	550	555	560	570	580
$k(\lambda)$	0.323	0.503	0.710	0.862	0.954	0.995	1.0	0.995	0.952	0.870
λ , нм	590	600	610	620	630	640	650	660	670	680
$k(\lambda)$	0,757	0,631	0,503	0,381	0,265	0,175	0,107	0,061	0,032	0,017
λ , нм	690	700	710	720	730	740	750	760	770	780
$k(\lambda)$	0,0082	0,0041	0,0021	0,00105	0,00052	0,00025	0,00012	0,00006	-	-

Таблиця 14 - Лампи люмінесцентні ртутні

Тип лампи	Потужність, Вт		Напруга на лампі, В		Струм, А	Світловий потік, Лм		Світловий потік кожної лампи після 4000 годин горіння, Лм, не менше:
	номінальна	граничне відхилення	номінальна	граничне відхилення		номінальний	не менше	
ЛДЦ 15-4	15	+1.25	54	+/-5.4	0.33	500	450	325
ЛД 15-4						590	530	385
ЛХБ 15-4						675	605	440
ЛТБ 15-4						700	630	455
ЛБ 15-4						760	680	495
ЛДЦ 20-4	20	+1.50	57	+/-6.0	0.36	820	735	615
ЛД 20-4						920	825	690
ЛХБ 20-4						935	840	700
ЛТБ 20-4						975	875	730
ЛБ 20-4						1180	1060	885
ЛДЦ 30-4	30	+2.00	104	+/-10.4	0.36	1450	1305	940
ЛД 30-4						1640	1475	1065
ЛХБ 30-4						1720	1490	1120
ЛТБ 30-4						1720	1545	1120
ЛБ 30-4						2100	1890	1365
ЛДЦ 40-4	40	+2.50	103	+/-10.3	0.43	2100	1890	1575
ЛД 40-4						2340	2105	1755
ЛХБ 40-4						2600	2340	1950
ЛТБ 40-4						2580	2320	1935
ЛБ 40-4						3000	2700	2250
ЛДЦ 65-4	65	+3.75	110	+/-11.0	0.67	3050	2745	1980
ЛД 65-4						3570	3210	2320
ЛХБ 65-4						3820	3435	2500
ЛТБ 65-4						3980	3580	2590
ЛБ 65-4						4550	4095	2955
ЛДЦ 80-4	80	+4.50	102	+/-10.2	0.865	3560	3200	2320
ЛД 80-4						4070	3660	2645
ЛХБ 80-4						4440	3995	2885
ЛТБ 80-4						4440	4165	2885
ЛБ 80-4						5220	4695	3395

Таблиця 15 – Лампи люмінесцентні ртутні

Потужність, Вт	Діаметр, мм	Довжина з цоколями без шпирків, мм
1	2	3
15	25	437,4
20	38	589,8
30	25	894,6
40	38	1199,4
80	38	11500,0
4	17	136
6	17	212
13	17	288
30	38	894,6
20(ЛБК-20)	32	722 (зовнішній діаметр кільця 236 мм)
125(ЛБ125-1)	38	1500,0
125(ЛБ125-2)	38	1199,4
150	38	1500,0
200	54	1500,0

Таблиця 16 - Лампи люмінесцентні ртутні

Тип лампи	Напруга на лампі, В	Струм, А	Світловий потік, Лм (після 100 годин горіння)	Напруга мережі, В
ЛБ 4-1	30	0,150	90	127
ЛБ 6-1	46	0,150	180	127
ЛБ 8-3	61	0,170	310	127
ЛБ 13-1	95	0,175	540	220
ЛБК 20	68	0,33	820	127 та 220
ЛБ 125-1	120	1,25	6000	220
ЛХБ 125-3	67	2,1	6200	380/220
ЛХБ 150	89	2	8000	380
ЛХБ 200	65	3,5	10000	380/220

Список літератури

1. Рохлин Г.М. Розрядные источники света. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 719 с.
2. ДСТУ ІЕС-200 Люмінесцентні лампи двоцокольні.
3. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б. Айзенберга. – М.: Знак, 2006. - 951 с.
4. Назаренко Л.А., Гуракова Л.Д. Методичні вказівки до дипломного проектування, Харків-ХНАМГ-2008.-50с.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки до виконання курсового проекту «Розрахунок люмінесцентних ламп» з курсу «Джерела світла» (для студентів 3-4 курсів денної і заочної форм навчання напряму підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» спеціальності «Світлотехніка та джерела світла»)

Укладач: Лариса Дмитрівна Гуракова

Редактор: М.З.Аляб'єв

План 2009, поз. 310М

Підп. до друку 30.09.09	Формат 60x84 1/16.	Папір офісний
Друк на ризографі.	Умовн.-друк. арк. 1,2	Обл. – вид. арк. 1,4
Тираж 50 прим.	Замовл №	

ХНАМГ, 61002, Харків, вул. Революції, 12

Сектор оперативної поліграфії при ЦНІТ ХНАМГ
61002, Харків, вул. Революції, 12